核技术利用建设项目

泉州市第一医院

新增 Y-90 树脂微球治疗项目

环境影响报告表

（公示本）

泉州市第一医院（盖章）

2026 年 5 月

核技术利用建设项目

泉州市第一医院

新增 Y-90 树脂微球治疗项目

环境影响报告表

建设单位名称：泉州市第一医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：福建省泉州市鲤城区东街 248-252 号

邮政编码：362000　　联系人：王勇

电子邮箱：wyong2009@126.com　　联系电话：15880700936

打印编号：1776736640000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	5cvrff
建设项目名称	泉州市第一医院新增Y-90树脂微球治疗项目
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	泉州市第一医院
统一社会信用代码	12350500489240041C
法定代表人（签章）	黄志扬
主要负责人（签字）	王勇
直接负责的主管人员（签字）	王勇
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	福建宏邦检测技术有限公司
统一社会信用代码	91350102MA8UQ5E46W
三、编制人员情况	

1. 编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
杨梅青	2021050353500000000l	BH048197	杨梅青

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
高忠	表7-表13	BH081250	高忠
杨梅青	表1-表6	BH048197	杨梅青

目 录

表 1 项目基本概况 1

表 2 放射源 43

表 3 非密封放射性物质 43

表 4 射线装置 44

表 5 废弃物 46

表 6 评价依据 47

表 7 保护目标与评价标准 50

表 8 环境质量和辐射现状 64

表 9 项目工程分析与源项 80

表 10 辐射安全与防护 95

表 11 环境影响分析 120

表 12 辐射安全管理 143

表 13 结论与建议 150

表 14 审批 153

表 1 项目基本概况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">泉州市第一医院新增 Y-90 树脂微球治疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">泉州市第一医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>黄</td><td>联系人</td><td>惠</td><td>联系电话</td><td colspan="2">1 2</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">福建省泉州市鲤城区东街 248-252 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">福建省泉州市丰泽区安吉南路 1028 号（城东院区）同心楼负一楼核医学科、同心楼五楼介入 DSA2 室、住院楼二楼专用病房</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>150</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>44.8</td><td>环保投资比例</td><td>29.87%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☐新建 ☐改建 ☑扩建 ☐其它</td><td>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="5">☐I类 ☐II类 ☐III类 ☐IV类 ☐V类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐I类（医疗使用）☐II类 ☐III类 ☐IV类 ☐V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙 ☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1.1 建设单位概况

1.1.1 建设单位概况

泉州市第一医院（福建医科大学附属泉州第一医院）（以下简称“建设单位”）创建于 1936 年，是一所融医疗、教学、科研和预防保健为一体的三级甲等综合医院，福建省南部省级区域医疗中心。医院设有 4 个院区（东街院区、城东院区、妇产院区、老年病分院），开放床位 2305 张。现有员工 3398 人，其中高级职称人员 439 人，中级职称 771 人；博士、硕士 674 人。国家级学术团体副主委、常委、委员 105 人，省级学术团体主委、副主委、常委 140 人。泉州市高层次人才 137 人，泉州培养型人才 80 人。福建省临床重点建设科室 5 个，泉州市重点专科 8 个。福建医科大学、福建中医药大学

内科学、外科学、神经病学、医院检验等 12 个专业博士、硕士学位授予点。

泉州市第一医院城东院区一期，于 2010 年 6 月建成试用，总面积 107497m^2，一期主要建设门诊、医技、住院、后勤保障一体的综合楼。二期同心楼于 2017 年 4 月 11 日经泉州市城乡建设规范局批准，总面积 56540.98m^2，同心楼设有 2 层地下室、22 层地上建筑用房。

1.1.2 项目建设规模

1.项目名称：泉州市第一医院新增树脂微球治疗项目。

2.建设单位：泉州市第一医院。

3.建设地点：城东院区同心楼负一楼核医学科（存储、抽取）、城东院区同心楼五楼介入 DSA2 室（注射）、城东院区住院楼二楼专用病房（33、35、41 床）（留观）。

4.建设内容：拟利用城东院区同心楼负一楼核医学科工作场所和城东院区同心楼五楼介入 DSA2 室新增开展 ^{90}Y 微球手术，手术每天最多治疗 3 个病人，每年最多治疗 200 例。其中，同心楼负一楼核医学科新增使用 ^{90}Y 以及增加 ^{99m}Tc 使用量，工作场所等级不变，仍为乙级非密封放射性工作场所；在同心楼五楼介入 DSA2 室新增使用 ^{90}Y、^{99m}Tc，为一处新增乙级非密封放射性工作场所；在住院楼二楼新增三间专用病房。

在 ^{90}Y 树脂微球手术前 7~14 天时，医院使用 ^{99m}Tc 放射性药物用于模拟 ^{90}Y 树脂微球在体内的分布，每个患者使用 ^{99m}Tc 的最大量为 1.48E+08Bq，^{99m}Tc 在同心楼负一楼核医学科由核医学科辐射工作人员进行药物存储和抽取工作（考虑核素衰变及手术时可能存在遗撒，最大抽取量按 1.85E+08Bq 计），置于专用铅罐中后由核医学科辐射工作人员按规定路线运送至同心楼五楼介入 DSA2 室，交由介入科辐射工作人员进行介入注射，然后回到核医学科接受 SPECT/CT 的扫描检查，满足 ^{90}Y 树脂微球手术条件后方进行 ^{90}Y 树脂微球手术。

本项目 ^{90}Y 树脂微球手术使用的核素为 ^{90}Y，每瓶 ^{90}Y 树脂微球活度为 3GBq，每个病人最大用量为 2.5GBq。本项目使用的 ^{90}Y 树脂微球来源为外购，药物到达医院后直接送至同心楼负一楼核医学科进行药物存储和抽取工作，然后置于专用铅罐中由核医学科辐射工作人员按规定路线运送至同心楼五楼介入 DSA2 室，交由介入科辐射工作人员进行 ^{90}Y 树脂微球治疗手术，手术后由介入科辐射工作人员护送患者到负一楼核医学科再

次接受 SPECT/CT 的扫描检查，检查完成后护送至住院楼二楼病房（33、35、41 床）进行医学留观 1～2 天后出院。本项目就诊量及非密封放射性使用情况见表 1-2。

表 1-1 本项目核素信息一览表

序号	核素	性质	用途	毒性因子	操作修正因子	药物来源
1	^{90}Y	悬浮液，半衰期 64.2h	治疗	0.1（中毒）	10（很简单）	外购
2	^{99m}Tc	液体，半衰期 6.02h	显像	0.01（低毒）	10（很简单）	外购
注：（1）^{90}Y 操作修正因子根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险分析研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）进行取值；（2）^{99m}Tc 操作修正因子参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录 A 进行取值。						

表 1-2 本项目非密封放射性物质使用情况一览表

工作场所	核素名称	操作方式	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大操作量（Bq）
同心楼负一楼核医学科	^{99m}Tc	分装、抽取	1.11E+09	1.11E+06	7.40E+10
	^{90}Y	抽取、活度测量	9.00E+09	9.00E+07	6.00E+11
同心楼五楼介入 DSA2 室	^{99m}Tc	介入注射	8.88E+08	8.88E+05	5.92E+10
	^{90}Y	介入注射	7.50E+09	7.50E+07	5.00E+11
注：（1）本项目 ^{90}Y 最多治疗 200 人次/年，因存在部分患者做了术前评估不适合做 ^{90}Y 手术（一般达到 ^{90}Y 手术条件的比例约为 1:2），故做 ^{99m}Tc 术前评估的患者按 400 人次/年计；（2）本项目中的 ^{99m}Tc 与 ^{90}Y 两种核素不同日操作，故不叠加。					

本项目运行后，同心楼负一楼核医学科和同心楼五楼介入 DSA2 室非密封放射性物质使用情况见下表：

表 1-3 本项目非密封放射性物质工作场所一览表

核素名称		物理状态	日等效最大操作量（Bq）			最大年操作量（Bq）	场所等级	操作场所	活动种类
原有	^{99m}Tc	液态	3.70E+07	3.59E+09	3.68E+09	9.25E+12	乙级	同心楼负一楼核医学科	使用
	^{131}I	液态	3.55E+09			6.29E+12			使用
	^{125}I（粒子源）	固态	2.96E+06			8.88E+11			使用
新增	^{99m}Tc	液态	1.11E+06	9.00E+07		7.40E+10			使用
	^{90}Y	悬浮液	9.00E+07			6.00E+11			使用
新增	^{99m}Tc	液态	8.88E+05	7.50E+07		5.92E+10	乙级	同心楼五楼介入 DSA2 室	使用
	^{90}Y	悬浮液	7.50E+07			5.00E+11			使用
注：由于 ^{90}Y 肝癌治疗的第一阶段（^{99m}Tc 前期模拟验证）和第二阶段（^{90}Y 正式治疗）两个项目不在同一天内开展，因此选取核素日等效最大操作量较大值。									

根据上表可知，同心楼负一楼核医学科原许可的日等效最大操作量为 3.59E+09Bq，本项目实施后新增使用 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 核素日等效最大操作量为 9.00E+07Bq，故本项目实施后，核医学科使用核素总的日等效最大操作量为 3.68E+09Bq。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目新增使用核素后核医学科工作场所

仍然为乙级非密封放射性工作场所。

本项目实施后，同心楼五楼介入 DSA2 室日等效最大操作量为 7.50E+07Bq。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目同心楼五楼介入 DSA2 室为乙级非密封放射性工作场所。

5.项目性质：相对于医院原有的核技术利用项目而言，本项目为扩建项目。

1.1.3 项目定员

本项目拟暂时配备辐射工作人员 10 人（详细名单见表 1-4），主要依托医院核医学科和介入科现有工作人员，所配备的辐射工作人员均已通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的培训考核，并取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格单，且均在有效期内（详见附件 17）。本项目配备的核医学科辐射工作人员除操作 ^{90}Y 树脂微球手术治疗流程外，也从事核医学科其他的诊疗工作；介入科辐射工作人员除操作 ^{90}Y 树脂微球手术治疗流程外，也从事 DSA 其他的介入手术操作。

表 1-4 本项目辐射工作人员信息表

序号	姓名	工作岗位	核技术利用辐射安全与防护编号	辐射安全与防护考核有效期	考核类别	培训机构
1	王	核医学医师	FS22FJ0300052	2022.07.11~2027.07.11	核医学	国家核技术利用辐射安全与防护培训平台
2	王	核医学技师	FS22FJ0300054	2022.07.11~2027.07.11		
3	陈	核医学护士	FS21FJ0300002	2021.07.13~2026.07.13		
4	朱	介入放射医师	FS22FJ0100459	2022.07.11~2027.07.11	医用 X 射线诊断与介入放射学	
5	连	介入放射医师	FS22FJ0100489	2022.07.20~2027.07.20		
6	柯	介入放射技师	FS22FJ0100487	2022.07.20~2027.07.20		
7	范	介入放射护士	FS22FJ0100444	2022.07.01~2027.07.01		
8	傅	介入放射护士	FS21FJ0100304	2021.08.04~2026.08.04		
9	吴	介入放射护士	FS22FJ0100481	2022.07.20~2027.07.20		
10	王	物理师	FS22FJ0200121	2022.07.26~2027.07.26	放射治疗	

1.1.4 年工作时间与预计工作量

本项目利用同心楼负一楼核医学科工作场所和五楼介入 DSA2 室开展 ^{90}Y 树脂微球手术，手术每天最多治疗 3 名患者，每年最多治疗 200 名患者，前期使用 ^{99m}Tc 药物进行模拟术前评估会存在部分患者评估结果为不适合做 ^{90}Y 微球手术（一般达到 ^{90}Y 手术条件的比例约为 1:2），因此每年进行 ^{99m}Tc 术前评估的最多为 400 名患者。^{99m}Tc 药物前期模拟术前评估与 ^{90}Y 药物治疗不在同一天进行。

^{90}Y、^{99m}Tc 药物在同心楼负一楼核医学科分装注射室进行药物抽取、活度测量时间均为 10min/人次。^{90}Y、^{99m}Tc 药物由同心楼负一楼核医学科转运至五楼 DSA2 室约 5min/次；在 DSA2 室 ^{90}Y 药物输注一例患者约 30min，^{99m}Tc 药物输注一例患者约 20min；SPECT/CT 扫描一例患者约 20min；^{90}Y、^{99m}Tc 患者由同心楼五楼 DSA2 室转移至负一楼核医学科 SPECT/CT 机房约 5min/次；^{90}Y 患者由同心楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房转移至住院楼二楼患者专用病房约 10min；住院病人护理约 10min/人。

^{90}Y、^{99m}Tc 药物转运均由核医学科同一名辐射工作人员负责，^{90}Y、^{99m}Tc 患者转运均由介入科同一名辐射工作人员负责，^{90}Y 和 ^{99m}Tc 输注均由两名介入科辐射工作人员分担负责，^{90}Y、^{99m}Tc 患者 SPECT/CT 扫描均由核医学科同一名辐射工作人员负责，每例 ^{90}Y 住院患者的护理工作均由介入科同一名辐射工作人员负责。

表 1-5　本项目 ^{90}Y 树脂微球治疗工作负荷一览表

工作岗位	操作方式	平均每次操作时间（min）	年操作次数（次）	年照射时间（h）
药物准备人员（核医学科医生、护士）	^{99m}Tc 药物分装、抽取与活度测量	10	400	66.67
	^{90}Y 药物抽取、活度测量	10	200	33.33
药物转运人员（核医学科护士）	^{99m}Tc 药物转运	5	400	33.33
	^{90}Y 药物转运	5	200	16.67
输注人员（介入科医生）	^{99m}Tc 药物注射	20	400	133.33
	^{90}Y 药物注射	30	200	100
SPECT/CT 扫描人员（核医学科技师）	^{99m}Tc 注射后患者扫描	20	400	133.33
	^{90}Y 注射后患者扫描	20	200	66.67
患者转运人员（介入科护士）	^{99m}Tc 患者转运	5	400	33.33
	^{90}Y 患者转运	15(5+10)	200	50
患者护理人员（介入科护士）	^{90}Y 住院患者	10	200	33.33

1.2 任务由来和评价目的

1.2.1 任务由来

为拓展医院业务范围，提高医院医疗服务水平，更好地满足人民群众的医疗服务需求，医院拟开展 Y-90 树脂微球治疗项目，用于肝癌的选择性内放射治疗。医院在同心楼负一楼核医学科新增使用 ^{90}Y 以及增加 ^{99m}Tc 使用量，工作场所等级不变，仍为乙级非密封放射性工作场所；在同心楼五楼介入 DSA2 室新增使用 ^{90}Y、^{99m}Tc，为一处新增

的乙级非密封放射性工作场所。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》（国务院第 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》等国家相关法律法规的要求，因本项目同心楼五楼介入 DSA2 室新增使用放射性核素 ^{90}Y、^{99m}Tc，为一处新增的乙级非密封放射性工作场所，符合《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》中的“10.增加新的辐射工作场所”，需要开展核技术利用建设项目环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目为使用乙级非密封放射性物质和 II 类射线装置，应编制环境影响报告表。为此，泉州市第一医院委托福建宏邦检测技术有限公司对该项目进行辐射环境影响评价（见附件 1）。接到委托后，我单位组织专业技术人员对现场进行了调查、监测和资料收集工作，编制完成了《泉州市第一医院新增 Y-90 树脂微球治疗项目环境影响报告表》。

1.2.2 评价目的

本项目评价目的主要包括以下几个方面：

（1）对辐射活动场所周边进行辐射环境现状水平监测，以掌握辐射活动场所的辐射环境现状水平。

（2）分析项目运行过程中产生的辐射影响，预测辐射工作人员和公众所受的年有效剂量。

（3）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

（4）分析本项目是否满足国家和地方生态环境主管部门对核技术利用建设项目环境管理规定的要求，为本项目的辐射环境管理提供科学依据。

1.3 项目平面布置及周边环境概况

泉州市第一医院（城东院区）位于福建省泉州市丰泽区安吉南路 1028 号，医院地理位置图详见图 1-1。本项目位于同心楼负一楼核医学科及五楼介入 DSA2 室、住院楼二楼专用病房（33、35、41 床），医院平面布局及本项目位置详见图 1-2，项目周边关系见图 1-3。

同心楼位于医院整体布局中部，其北侧为太平间、配电房、院内道路和绿化带；西北侧为住院楼；西侧为中心广场和院内道路；南侧为院内道路、绿化带和地面停车场；东侧为院内道路和绿化带。项目依托的核医学科位于医院同心楼负一楼，核医学科及其楼上楼下平面布局详见图 1-4～图 1-7。核医学科东南侧和东北侧为放疗中心，西南侧为停车场，西北侧为消防水池等功能用房，楼上为影像科，楼下为战时用房区。核医学科主要设置有核医学科候诊厅、诊室、甲功仪室、敷贴室、分装注射室、运动负荷/抢救室、固废间、注射后候诊室、留观室、SPECT 室、SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室以及核素治疗区等功能用房。其中，本项目主要依托的分装注射室位于核医学科中部，其东南侧为患者通道，东北侧为卫生通过间，西南侧为患者通道，西北侧为固废间；项目依托的 SPECT/CT 室位于核医学科中部，其东南侧为医生通道，东北侧为控制廊，西南侧为患者通道，西北侧为 SPECT 室。DSA2 室位于医院同心楼五楼，其东南侧为预留 DSA1 室，东北侧为患者准备区、设备间和导管间，西南侧为控制廊，西北侧为预留 DSA3 室，楼上为平台，楼下为库房，五楼介入中心和 DSA2 室平面布局详见图 1-8～图 1-10。

住院楼位于医院整体布局中部，其东北侧为院内道路、绿化带、后勤楼、太平间和配电房；西北侧为院内道路、绿化带、门诊部和急诊中心；西南侧为院内道路和感染楼；南侧为中心广场和院内道路；东南侧为院内道路和同心楼。项目依托的 ^{90}Y 患者留观专用病房位于住院楼二楼病房（33、35、41 床），病房东南侧为室外悬空无建筑物，东北侧为病房走廊，西南侧为二楼连廊，西北侧为普通病房，楼上为办公室、卫生间、过道、医生值班室和休息室，楼下为大厅和药房，住院楼二楼和 ^{90}Y 病房平面布局详见图 1-11 和 1-12。

为了尽量减少 ^{99m}Tc、^{90}Y 药物及患者转运过程中与其他人员交叉，本项目药物运输时间安排在医院人流量少的时间段进行，^{90}Y 药物采购后于治疗当天上班前经负一楼停车场通过西南侧核医学科患者出口通道和 ^{99m}Tc 患者检查通道运往分装注射室进行分装，分装后的 ^{90}Y 药物从核医学科患者检查通道沿患者出口通道直接到达西南侧 DT-4 专用电梯（药物运输时临时管控）直达同心楼五楼介入中心，然后沿东北方向通道转西北方向通道经 DSA2 室东北侧机房大门进入 DSA2 室待用，^{99m}Tc 药物依托核医学科分装注射室在分装柜内进行分装标记后与 ^{90}Y 由同一路线运往同心楼五楼介入中心 DSA2

室备用；^{90}Y 患者在 DSA2 室接受治疗后，从 DSA2 室东北侧防护门沿东南方向转西南方向通道到达 DT-4 专用电梯（患者转运时临时管控）直达同心楼负一楼，沿西南方向通道经停车场到达核医学科大厅，然后由核医学科核素影像诊断区入口进入，经患者通道 SPECT/CT 机房内接受扫描检查。经 SPECT/CT 扫描检查后的 ^{90}Y 患者再从患者出口 DT-4 专用电梯（患者转运时临时管控）到达同心楼二楼，沿同心楼与病房楼间的连廊到达后进入住院楼二楼专用病房（33、35、41 床），留观 1～2 天后离院。

本项目药物运输路线主要位于负一楼，有效避开了医院门诊大厅等人流量较大区域。本项目所依托的 DT-4 电梯为刷卡控制电梯，在药物及患者转运期间将设置为专用电梯，医院通过控制电梯停靠楼层、安排人员在电梯进出口放置警示标志来避免其他医务人员和公众人员进入导致混用，在药物及患者转运结束 5min 后方可对电梯解控。若转运期间出现患者呕吐等特殊情况，需对电梯地面、墙面、门进行β表面污染检测合格后方可作为非放射性电梯使用。药物及患者转运过程中对转运路线两侧 1m 范围内进行临时管控，安排安保人员提前将药物及患者转运路线周围公众人员进行疏散，分别在转运路线两侧 1m 范围内设置警戒线，在药物及患者转运结束 5min 后再拆除警戒线。通过上述措施对药物及患者转运过程中进行管控，可有效避免对周围公众的影响。转运过程中对周围公众的影响较小。

根据实际调查情况，本项目周边 50m 范围内无居民楼、学校等敏感点，本项目周边环境见表 1-6，项目及周边现场情况见图 1-13：

表 1-6 本项目辐射工作场所周边环境一览表

方位	同心楼负一楼核医学科	同心楼五楼介入 DSA2 室	住院楼二楼病房
东北	放疗中心	患者准备区、设备间和导管间	病房走廊
东南	放疗中心	DSA1 室	室外悬空无建筑物
西南	停车场	控制廊	二楼连廊
西北	消防水池等功能用房	DSA3 室	普通病房
上	影像科	平台	办公室、卫生间、过道、医生值班室和休息室
下	战时用房区	库房	大厅和药房

图 1-1 泉州市第一医院（城东院区）地理位置图

图 1-2 泉州市第一医院（城东院区）平面布局及项目位置示意图

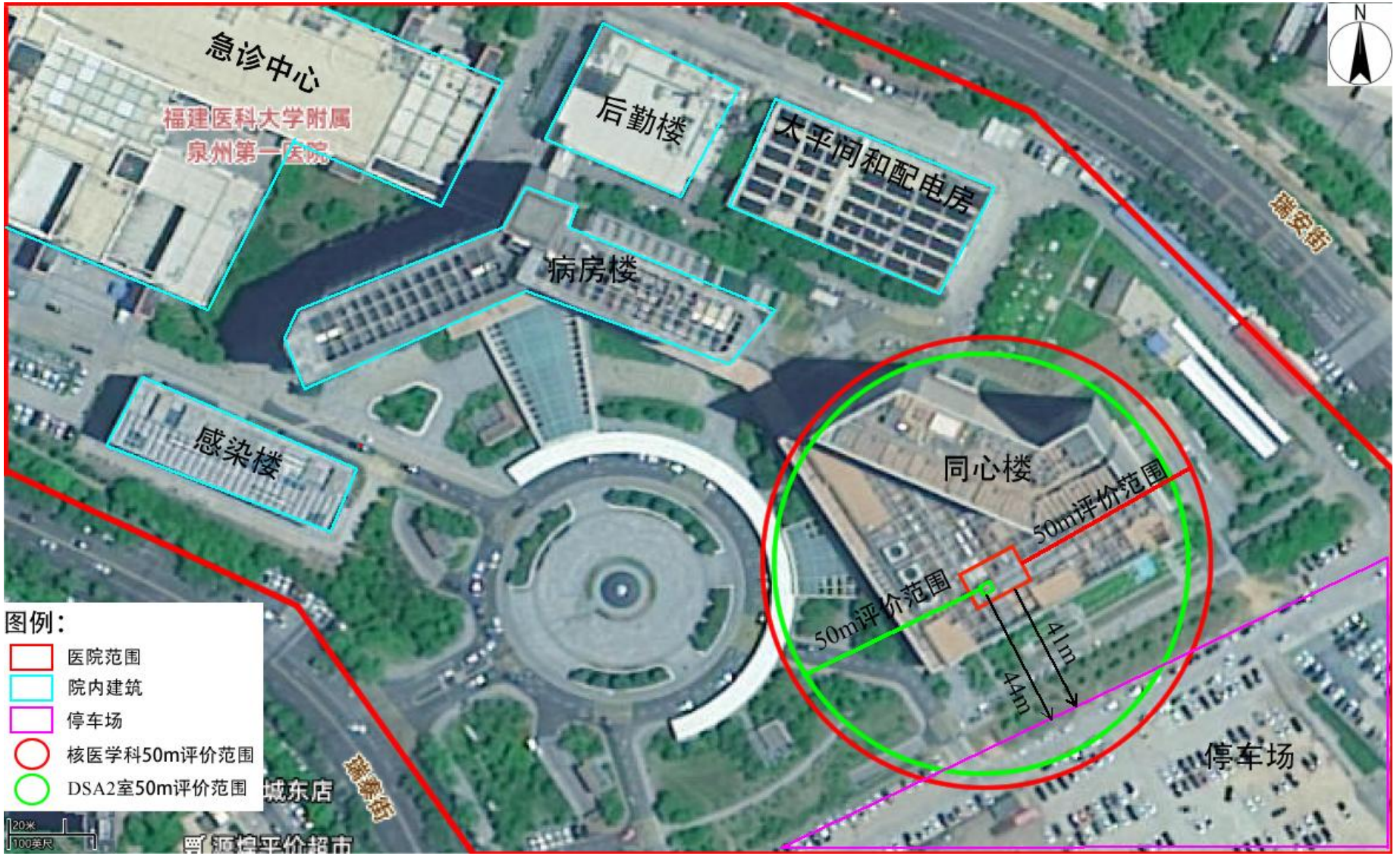

急诊中心
福建医科大学附属
泉州第一医院
后勤楼
太平间和配电房
病房楼
感染楼
同心楼
瑞安街
50m评价范围
50m评价范围
41m
44m
停车场
N
图例：
医院范围
院内建筑
停车场
核医学科50m评价范围
DSA2室50m评价范围
20米
100英尺

图 1-3 项目周边关系图

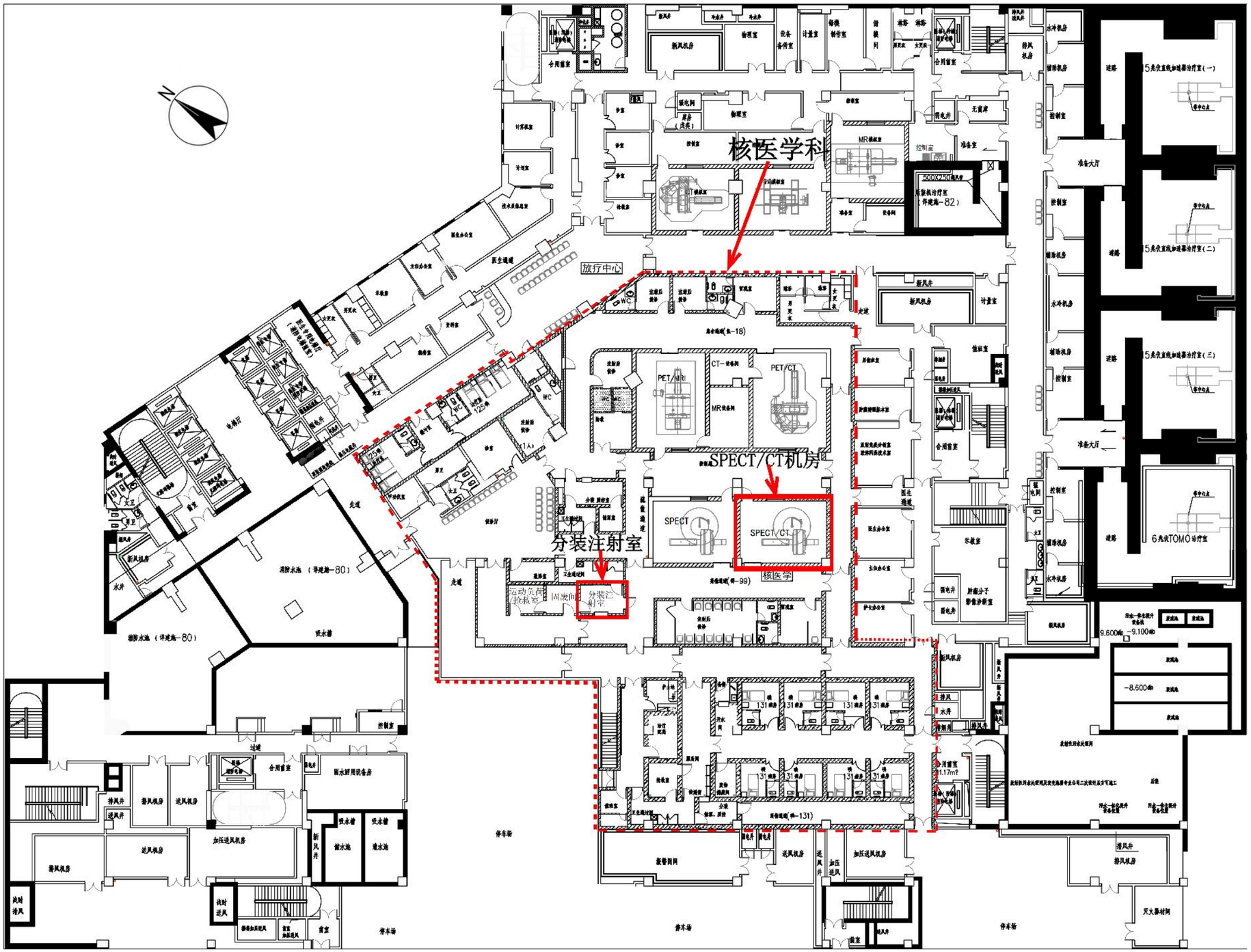


图 1-4 核医学科整体平面布局图

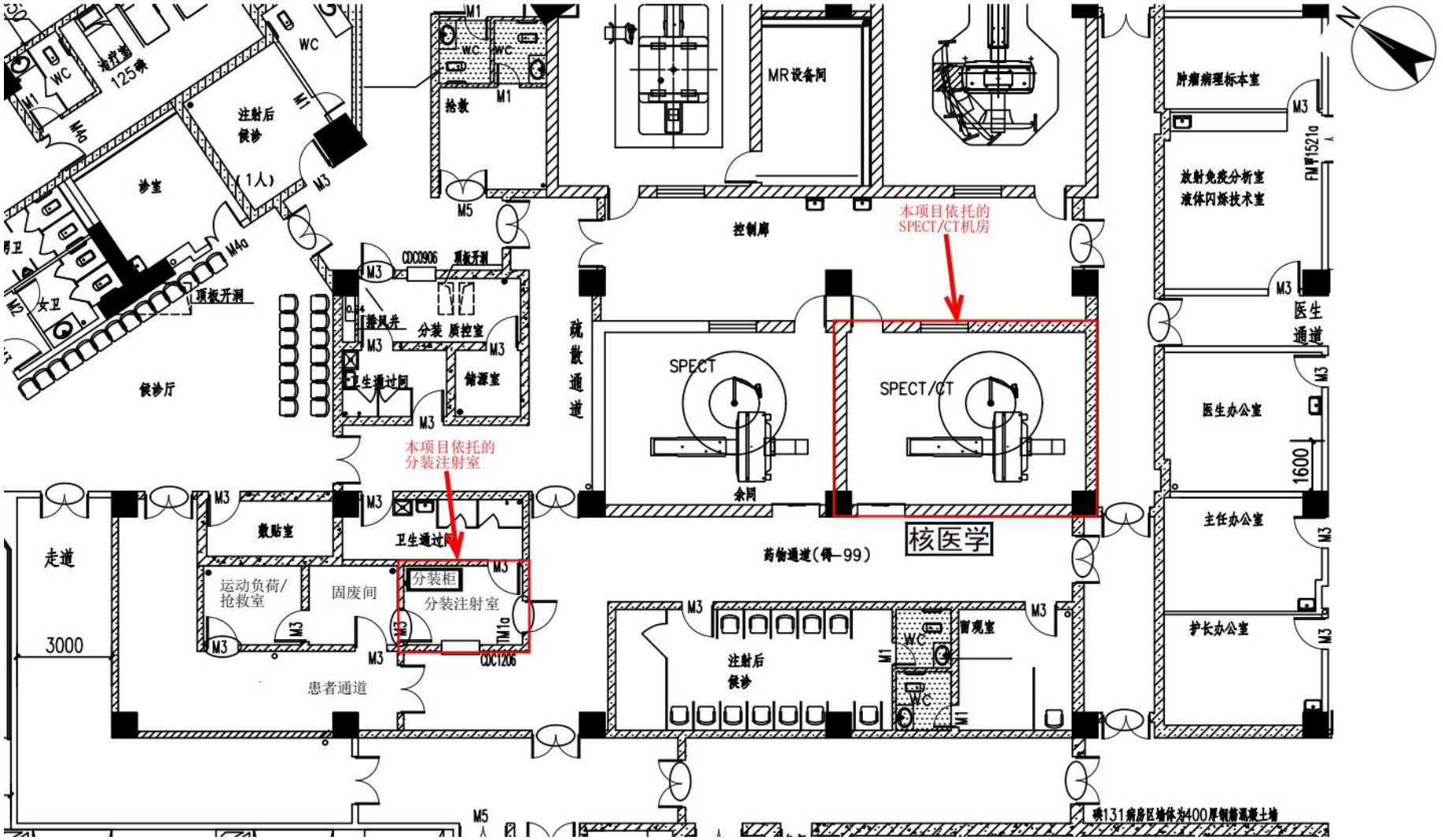


图 1-5 核医学科 SPECT/CT 工作场所局部平面布局图

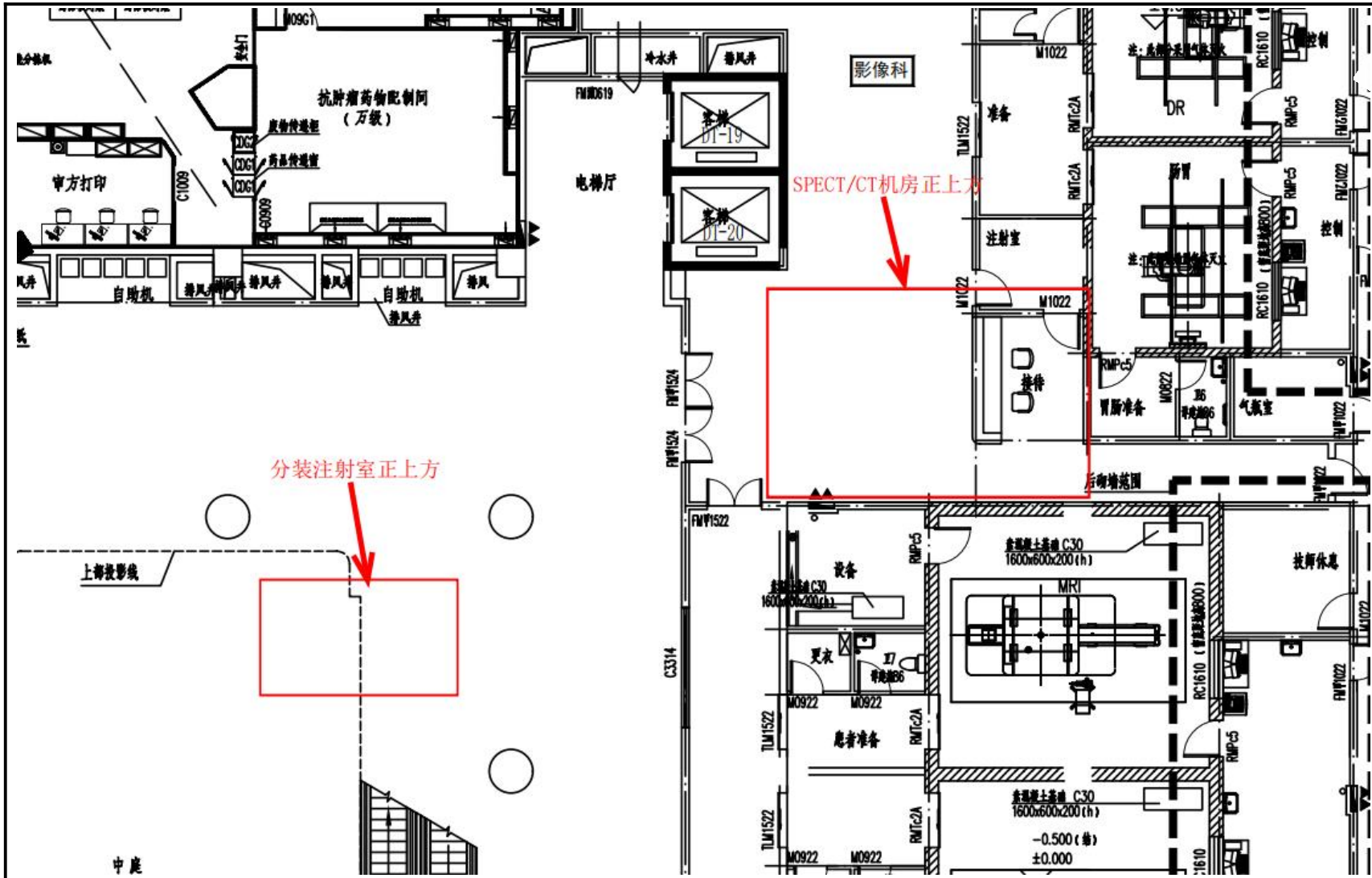


图 1-6 核医学科 SPECT/CT 工作场所楼上局部平面布局图

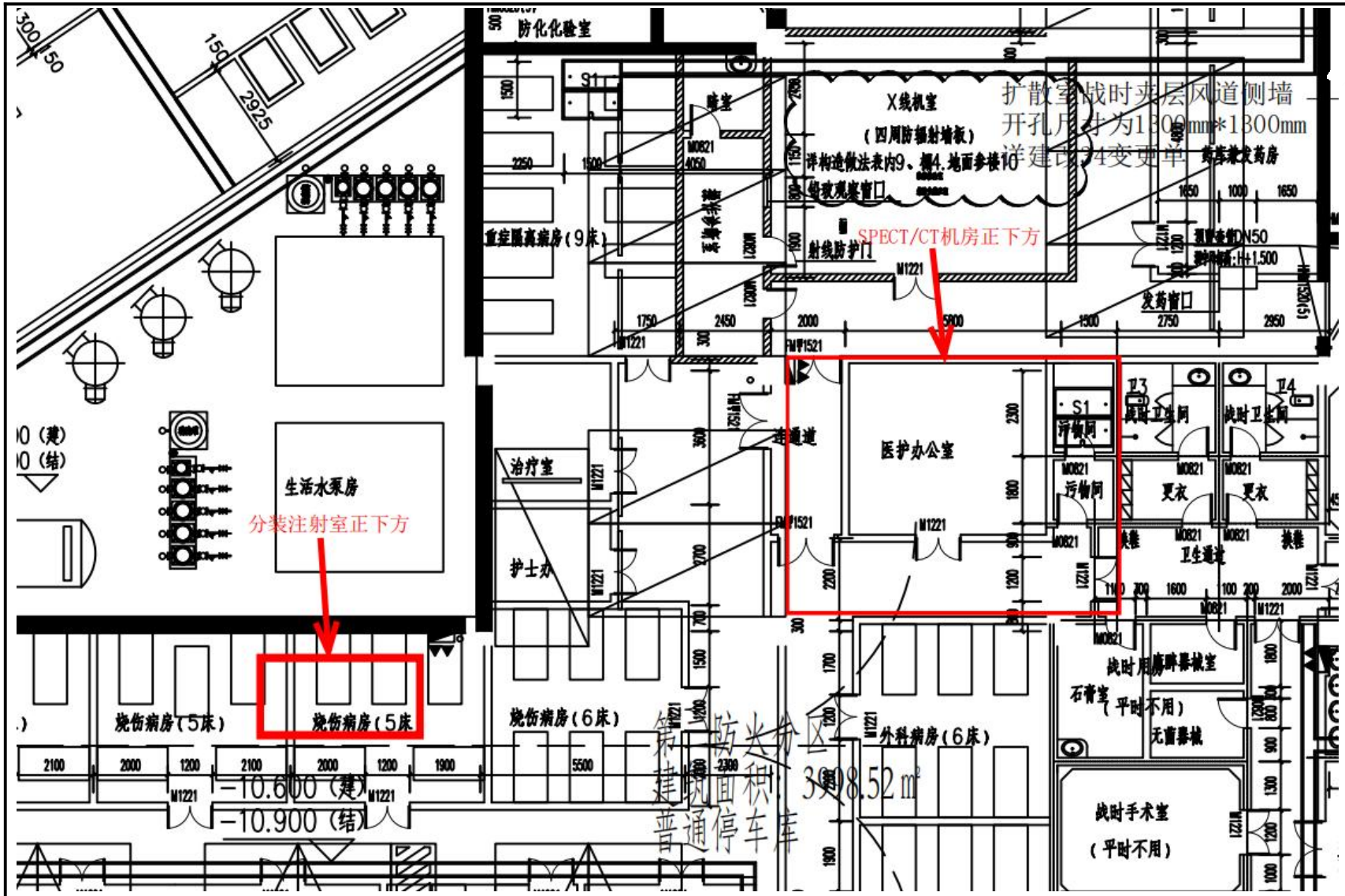


图 1-7 核医学科 SPECT/CT 工作场所楼下局部平面布局图

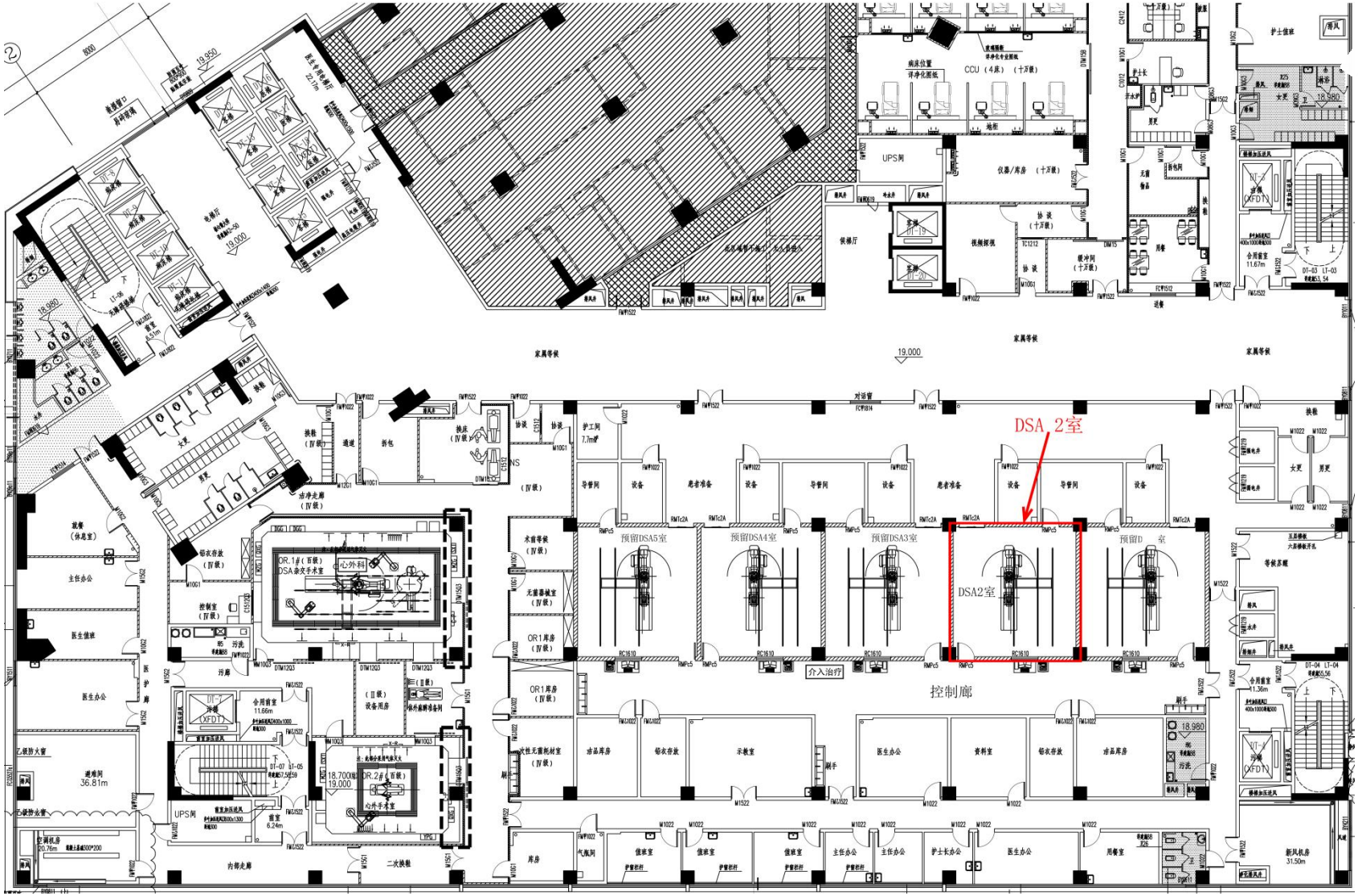


图 1-8 五楼介入中心整体平面布局图

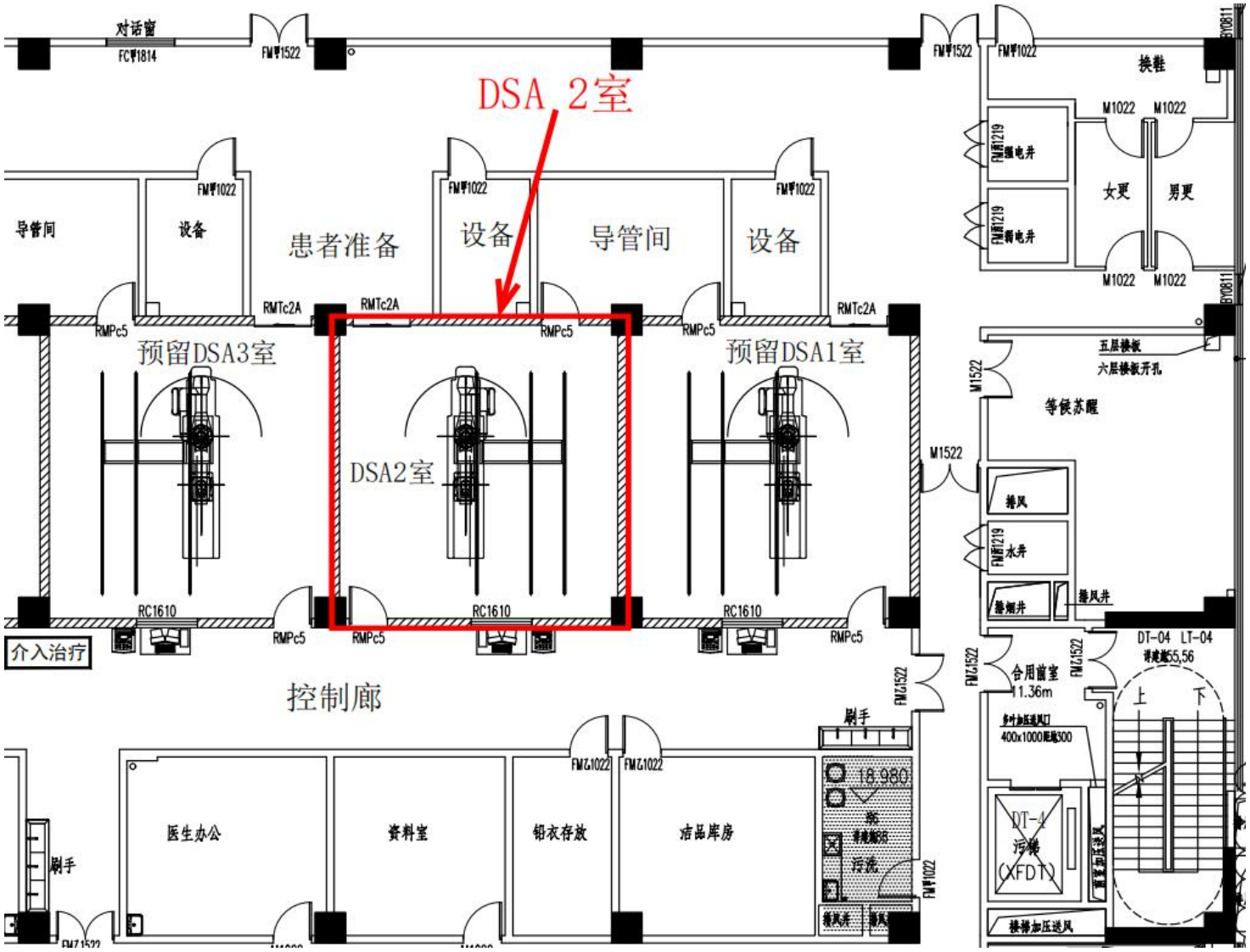


图 1-9 五楼介入 DSA2 室局部平面布局图

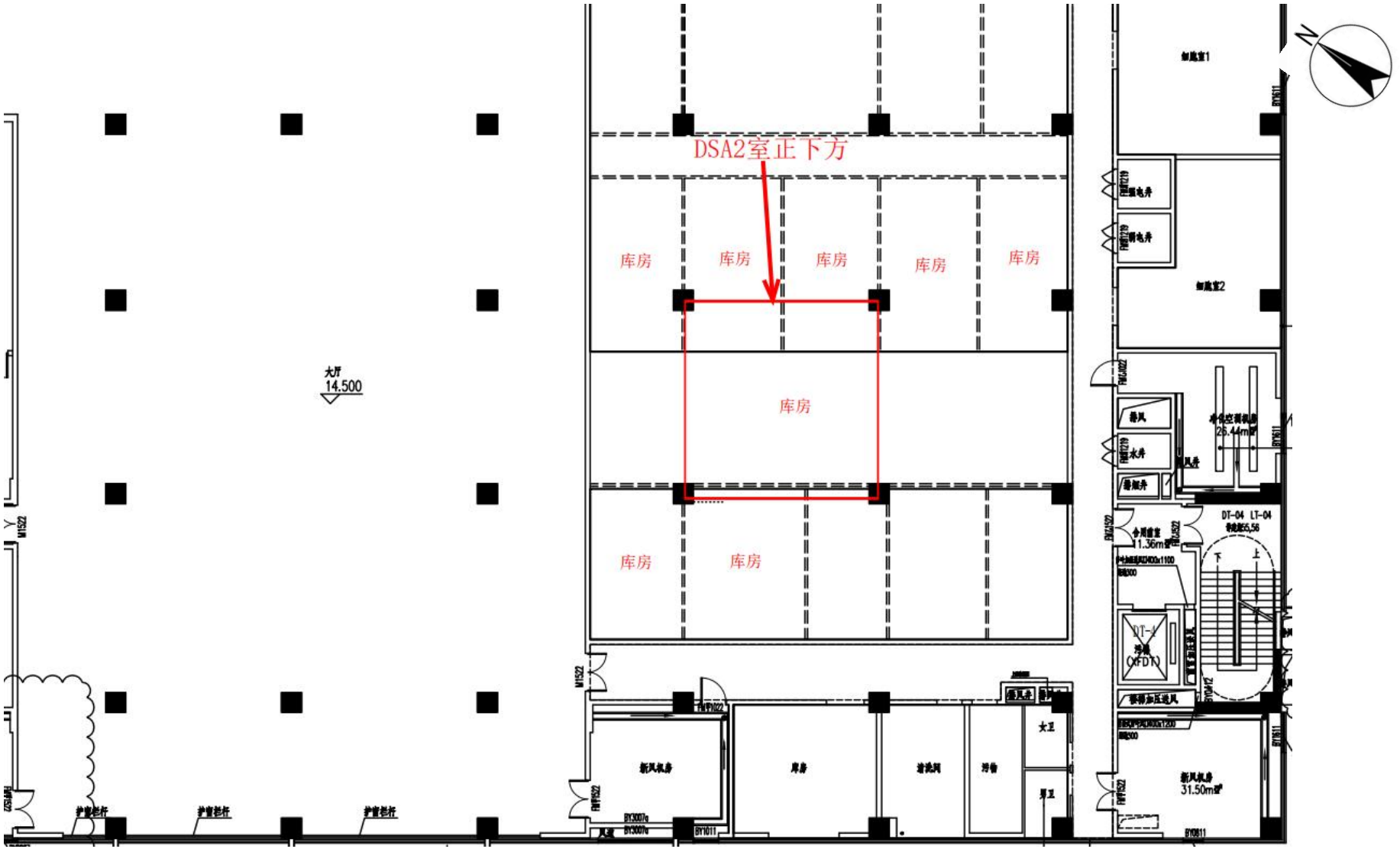


图 1-10 介入 DSA2 室局部平面布局图

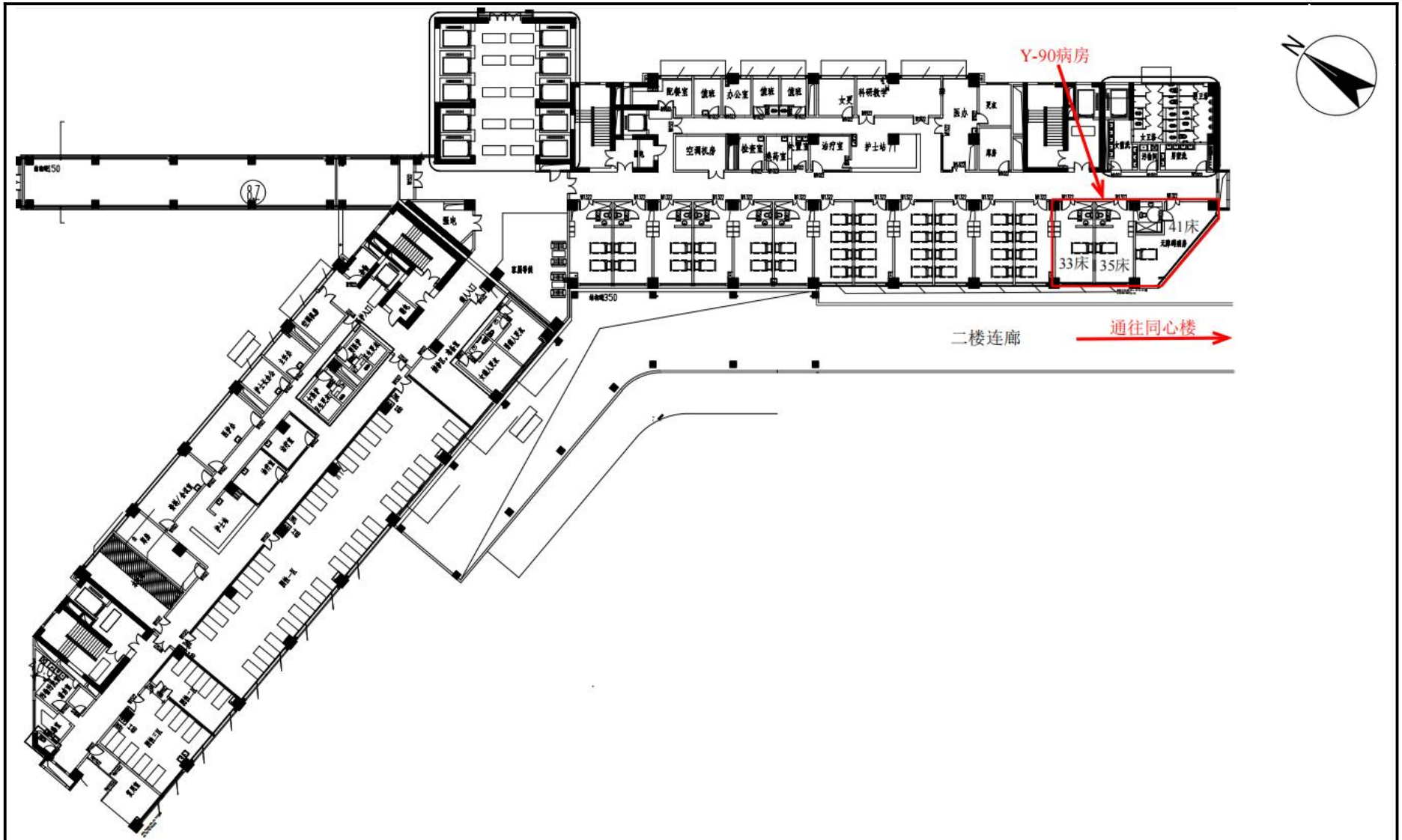


图 1-11 二楼住院病房整体平面布局图

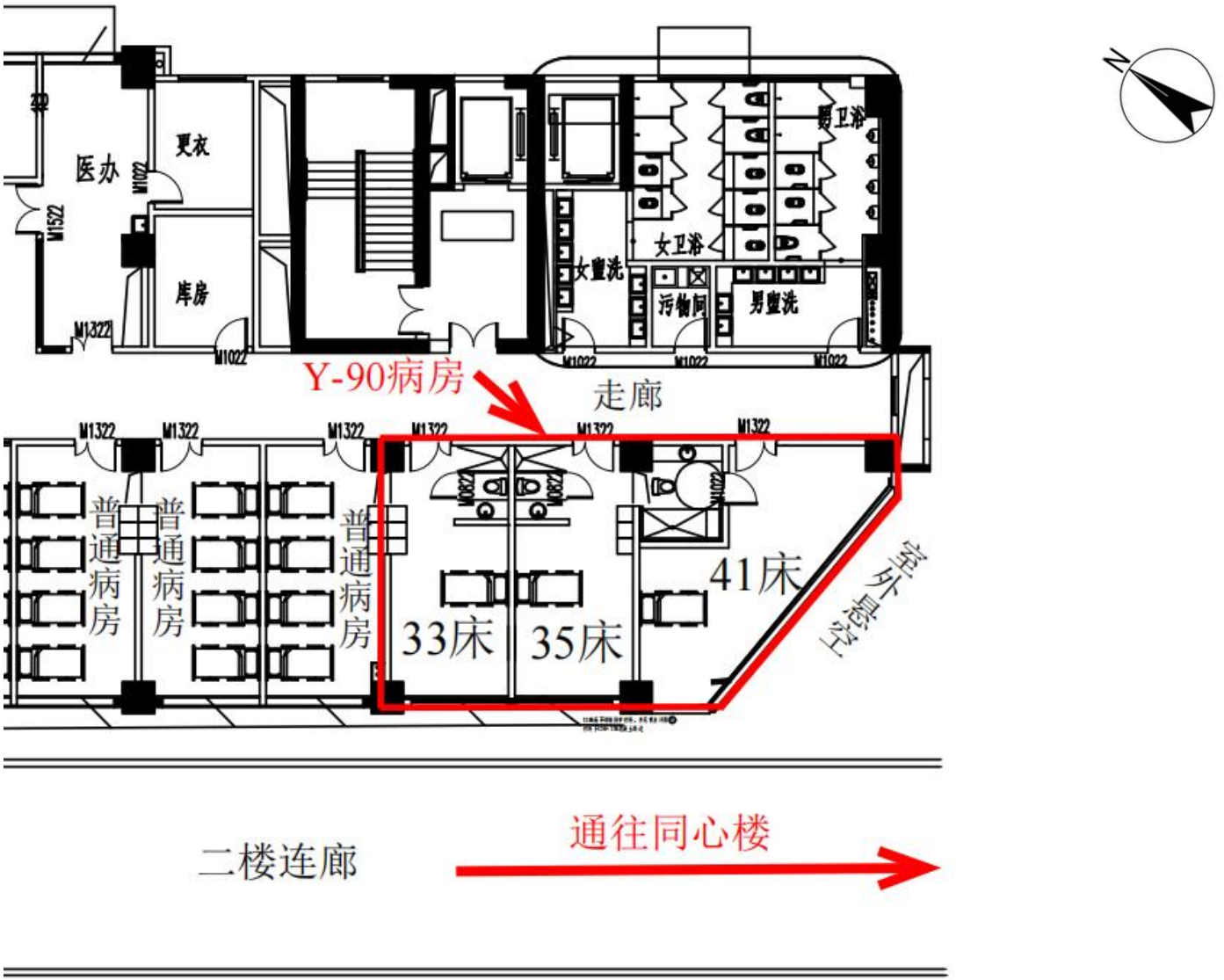
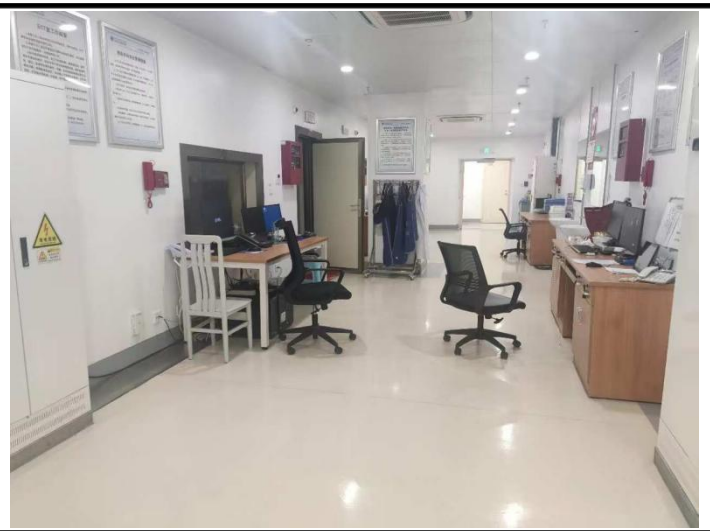


图 1-12 二楼 ^{90}Y 病房局部平面布局图

	核医学科 Dept of Nuclear Medicine 您即将进入监督区 Supervised Region Spect/ct 检查
同心楼	负一楼核医学科

SPECT/CT 工作场所	**分装注射室**

分装柜	SPECT/CT 机房

	
SPECT/CT 机房	**SPECT/CT 机房东北侧控制廊**
SPECT/CT 机房东南侧医生通道	**SPECT/CT 机房西北侧预留 SPECT 机房**

核医学科西南侧停车场	核医学科东北侧放疗中心
五楼 DSA2 机房	

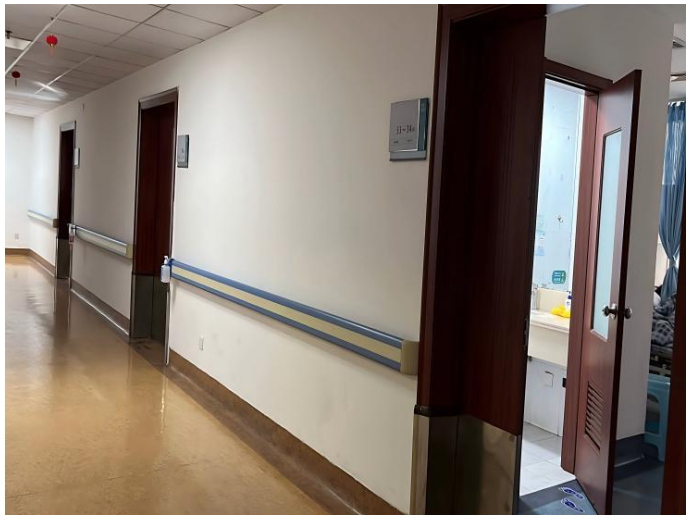
DSA2 机房西南侧控制廊	**DSA2 机房东南侧预留 DSA1 机房**
DSA2 机房西北侧预留 DSA3 机房	**DSA2 机房东北侧导管室**

DSA2 机房东北侧设备间	**五楼介入中心家属等候区**
本项目放射性药物和患者专用刷卡电梯	**同心楼二楼通往病房楼连廊**

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>同心楼与病房楼之间连廊</td><td>病房楼二楼连廊</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">后勤楼、太平间和配电房（同心楼北侧、住院楼东北侧）</td></tr>
</table>

同心楼南侧地面停车场

病房楼



Y-90 患者住院病房

图 1-13 医院现场照片

1.4 选址可行性分析

项目依托现有核医学科和DSA机房进行，医院核医学科位于同心楼负一楼，位置相对独立且封闭，人流较少，并设置了单独的人员、物流通道；DSA2室远离周围环境敏感点，有利于辐射防护，对周围环境影响小，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。现有核医学科和DSA2室均不与产科、儿科、食堂等部门毗邻，并避开了医院人员密集区。其选址与布局满足“诊治工作要求、有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰”的原则，同时，本项目运营期产生的放射性废水、废气、固体废物等依托核医学科现有辐射防护设施均可得到有效治理，做到达标排放，对环境影响小，从环境保护角度分析，项目选址可行。

1.5 布局合理性分析

本项目平面布局便于工作人员及病人的辐射防护工作及就医流程的简化，对控制区、监督区布置进行了设计，医生、病人出入口明显分开，布局较为合理，能较好地满足乙级非密封放射性物质工作场所布局要求。

本项目病人转移线路及药物输送线路已根据医院实际情况做了最大优化，均选择人流相对较少的区域通道，有效避开了医院通往各楼栋的主要通道等人流量较大区域，且药物运输过程均处于铅罐中，加上转运过程中要求患者及药物转移过程中提前安排专人对沿线人流进行疏导，确保患者或药物与其他人员保持 1m 以上距离；患者或药物转移过程中所依托上下楼电梯均为专用电梯，需要有专人持卡才能进出，无病人乘坐，上下电梯期间无其他无关非辐射人员同时乘坐，采取以上措施后，药物及患者转运过程中对周围公众的影响较小。综上，从环境保护角度分析，医院辐射工作场所布局可行。

1.6“三线一单”符合性分析

本项目“三线一单”符合性分析一览表见表1-7。所在管控单元见图1-14。

表1-7 本项目“三线一单”符合性分析一览表

生态保护红线	本项目位于福建省泉州市丰泽区安吉南路 1028 号，选址不涉及饮用水源、风景区、自然保护区等生态保护区，不属于国家级和省级禁止开发区域及其他需要纳入红线的保护地范围。根据《泉州市人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（泉政文〔2021〕50 号，2021 年 11 月），项目位于泉州市第一医院城东院区同心楼和住院楼内，属于公共服务设施用地，不在优先保护单元、中心城区重

	要生态空间保护范围，本项目建设符合生态红线控制要求。
环境质量底线	经现场检测，本项目依托的现有核医学科和 DSA 工作场所及周围环境的辐射本底水平和表面污染水平未见异常。经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。本项目产生的放射性废气通过排风系统经排风管道引至同心楼楼顶排放，产生的放射性废水经排水管道汇集连接至放射性衰变池内衰变达标后排放，产生的放射性固废收集贮存在核医学科 SPECT/CT 工作场所固废间放射性废物桶内暂存衰变相应周期，经检测符合要求后可对废物清洁解控作为医疗废物处理。DSA 运行时产生的少量氮氧化物和臭氧，通过机械通风可满足相关要求，符合环境质量底线要求。
资源利用上线	本项目运营过程中会消耗一定量的水、电资源，主要来自工作人员的日常生活用水和设施用电，项目用水用电均来自市政供应，建设规模小，用水、用电量不大，不涉及高污染燃料使用，不属于高耗水高耗能项目。因此项目不会突破区域资源利用上线要求。
环境管控单元准入要求	根据福建省生态环境分区管控数据应用平台“三线一单”综合查询结果可知，项目属于“丰泽区重点管控单元 2（编码：ZH35050320002）”，该环境管控单元准入要求如下： （1）空间布局约束： ①严禁在城镇人口密集区新建危险化学品生产企业；现有不符合安全和卫生防护距离要求的危险化学品生产企业 2025 年底前完成就地改造达标、搬迁进入规范化工园区或关闭退出。 ②新建石化、化工、包装印刷、工业涂装、制鞋等高 VOCs 排放的项目必须进入工业园区。 （2）污染物排放管控： ①城镇污水处理设施排水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准，并实施脱氮除磷。 ②在城市建成区新建大气污染型项目，应落实区域二氧化硫、氮氧化物排放量控制要求。 （3）环境风险防控： 单元内现有化学原料和化学制品制造业等具有潜在土壤污染环境风险的企业，应建立风险管控制度，完善污染治理设施，储备应急物资。应定期开展环境污染治理设施运行情况巡查，严格监管拆除活动，在拆除生产设施设备、构筑物和污染治理设施活动时，要严格按照国家有关规定，事先制定残留污染物清理和安全处置方案。 （4）资源开发效率要求：

	禁燃区内，禁止城市建成区居民生活燃用高污染燃料，禁止新建、改建、扩建燃用高污染燃料的设施。 本项目为核技术利用建设项目，主要为医疗放射诊断和治疗，不属于新建石化、化工、包装印刷、工业涂装、制鞋等高 VOCs 排放的项目，不涉及化学品生产，不涉及燃用高污染燃料，符合环境准入清单要求。

图 1-14 项目所在生态环境分区管控单元

1.7 实践正当性

本项目核医学科和介入科使用 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 用于肝癌肿瘤治疗。^{90}Y 树脂微球治疗项目有利于提高医院的治疗水平，具有良好的社会效益和经济效益。根据本报告分析，在采取相应辐射安全防护措施的情况下，运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

1.8 产业政策符合性

本项目属于核技术在医学领域内的运用，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于“鼓励类”中“六、核能”中的“4. 核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，“第十三项、医药”中“4. 高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”。因此，本项目属于国家鼓励类产业，项目建设符合国家产业政策。

1.9 医院原有核技术利用项目情况及辐射管理现状

1.9.1 原有核技术利用项目辐射安全许可情况

泉州市第一医院已于 2025 年 7 月 29 日重新办理了辐射安全许可证（证书编号：闽环辐证[00183]，见附件 3），许可的类别和范围包括使用III类、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。医院非密封放射性工作场所概况、原有射线装置基本情况、放射源概况见表 1-8～表 1-10。

表 1-8 医院原有非密封放射性物质工作场所概况一览表

核素名称	物理状态	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	场所等级	辐射活动场所名称	活动种类	环评手续	环保验收	许可情况
Tc-99m	液态	3.70E+07	9.25E+12	乙级	城东院区同心楼负一楼核医学科	使用	已办理	已验收	已许可
I-131	液态	3.55E+09	6.29E+12			使用	已办理	已验收	已许可
F-18	液态	7.40E+06	1.85E+12			使用	已办理	未验收	未许可
I-125（粒子源）	固态	2.96E+06	8.88E+11			使用	已办理	/	已许可
F-18	液态	5.55E+07	1.57E+12	乙级	城东院区影像楼二楼核医学科	使用	已办理	已验收	已许可
I-125（粒子源）	固态	5.92E+08	5.92E+11			使用	已办理	/	已许可
Tc-99m	液态	1.63E+08	4.90E+12	乙级	东街院区孙中山纪念楼二楼	使用	已办理	已验收	已许可
Sr-89	液态	5.92E+07	5.92E+10			使用	已办理	已验收	已许可
I-131	液态	2.96E+09	1.67E+12			使用	已办理	已验收	已许可
注：/表示备案登记表无需开展竣工环境保护验收。									

表 1-9 医院原有放射源概况一览表

核素名称	放射源类别	活度（贝可），枚数	辐射活动场所名称	活动种类	环评手续	环保验收	许可情况
Sr-90 (Y-90)	V类	7.40E+09, 1 枚	城东院区同心楼负一楼核医学科	使用	已办理	未验收	已许可
Ge-68	V类	4.625E+07Bq/枚，2 枚	城东院区影像楼二楼核医学科	使用	已办理	/	已许可
Ge-68	V类	4.625E+07Bq/枚，2 枚		使用	已办理	/	已许可
Ge-68	V类	9.25E+07Bq/枚，1 枚		使用	已办理	/	已许可
Ge-68	V类	9.25E+07Bq/枚，1 枚		使用	已办理	/	已许可
Ir-192	III类	3.70E+11Bq，1 枚	同心楼负一楼放疗科	使用	已办理	已验收	已许可
注：/表示备案登记表无需开展竣工环境保护验收。							

表 1-10 医院原有射线装置情况一览表

序号	装置名称	规格型号	技术参数	类别	辐射活动场所名称	环评手续	环保验收	许可情况
1	DSA	GE Innova	125kV,1000mA	II 类	城东门诊楼负一楼介入科	已办理	已验收	已许可
2	DSA	Allura Xper FD 20	125kV,1000mA	II 类		已办理	已验收	已许可
3	移动 DR	Mobieye 700	150kV,630mA	III 类	城东院区急诊影像楼	已办理	/	已许可
4	移动 DR	Mobieye 700	150kV,630mA	III 类		已办理	/	已许可

表 1-10 医院原有射线装置情况一览表（续表）

序号	装置名称	规格型号	技术参数	类别	辐射活动场所名称	环评手续	环保验收	许可情况
5	移动 DR	SM-50HF-B-D	150kV,500mA	III 类	城东院区急诊影像楼	已办理	/	已许可
6	DR	锐珂 DRX Ascend	150kV,1000mA	III 类		已办理	/	已许可
7	64 排螺旋 CT	GE Optima CT680 Expert	140kV,515mA	III 类		已办理	/	已许可
8	乳腺机	MAMMOMAT Inspiration	35kV,140mA	III 类	城东院区门诊楼负一楼影像科	已办理	/	已许可
9	胃肠造影	GE Precision THUNIS-800+	150kV,1000mA	III 类		已办理	/	已许可
10	DR	GE Definium 8000	150kV,500mA	III 类		已办理	/	已许可
11	DR	飞利浦 Digital Diagnsot 3	150kV,1000mA	III 类		已办理	/	已许可
12	骨密度仪	GE Prodigy	100kV,5mA	III 类		已办理	/	已许可
13	64 排螺旋 CT	GE Lightspccd VCT	140kV,700mA	III 类		已办理	/	已许可
14	DSA	GE Innova 3131	125kV,1000mA	II 类	城东院区门诊楼三楼手术室	已办理	已验收	已许可
15	移动式	GE OEC one	110kV,20mA	III 类		已办理	/	已许可
16	移动式	飞利浦 BV Endura	125kV,20mA	III 类		已办理	/	已许可
17	移动式	GE OEC One CFD	110kV,25mA	III 类		已办理	/	已许可
18	移动式	GE OEC one	110kV,20mA	III 类		已办理	/	已许可
19	口腔 X 光机	悦医行 YOU（M）	70kV,7mA	III 类	城东院区门诊楼一层口腔科	已办理	/	已许可
20	口腔 X 光机	PaX-400C	90kV,10mA	III 类		已办理	/	已许可
21	DR	锐珂 DRX Ascend	150kV,1000mA	III 类	城东院区门诊楼一楼体检中心	已办理	/	已许可
22	碎石	德国 Domier FS-2000	110kV,80mA	III 类	城东院区碎石中心	已办理	/	已许可
23	单光子发射计算机断层扫描仪	NM/CT 860	140kV,300mA	III 类	城东院区同心楼负一楼核医学科	已办理	已验收	已许可
24	DSA	Azurion 5M20	125kV,1000mA	II 类	城东院区同心楼五层介入室	已办理	已验收	已许可

表 1-10 医院原有射线装置情况一览表（续表）

序号	装置名称	规格型号	技术参数	类别	辐射活动场所名称	环评手续	环保验收	许可情况
25	256 排螺旋 CT	GE Revolution CT	140kV,740mA	III 类	城东院区同心楼一层影像科	已办理	/	已许可
26	PET-CT	西门子 biograph mCT Flow	140kV,500mA	III 类	城东院区影像楼二楼核医学科	已办理	已验收	已许可
27	DSA	GE Innova IGS 530	125kV,1000mA	II 类	东街门诊楼一楼介入科	已办理	已验收	已许可
28	CT	SOMATOM go Up	130kV,400mA	III 类	东街院区发热门诊	已办理	/	已许可
29	DR	锐珂 DRX-Ascend	150kV,1000mA	III 类	东街院区急诊楼三楼体检中心	已办理	/	已许可
30	移动式	西门子 SIREMOBIL Compact L	110kV,20mA	III 类	东街院区门诊楼六楼手术室	已办理	/	已许可
31	口腔 X 光机	德国西诺德 ORTHOPHOS XG	90kV,16mA	III 类	东街院区门诊楼三楼口腔科	已办理	/	已许可
32	牙片机	YOU(M)	70kV,7mA	III 类		已办理	/	已许可
33	移动 DR	SPSL-HF-4.0	150kV,630mA	III 类	东街院区门诊楼一楼影像科	已办理	/	已许可
34	移动 DR	Mobieye 700	150kV,500mA	III 类		已办理	/	已许可
35	胃肠造影	意大利 GMM OPERA	150kV,1000mA	III 类		已办理	/	已许可
36	DR	锐珂 DRX Evolution Plus	150kV,1000mA	III 类		已办理	/	已许可
37	DR	锐珂 DRX Evolution Plus	150kV,1000mA	III 类		已办理	/	已许可
38	64 排螺旋 CT	GE Optima CT660	140kV,500mA	III 类		已办理	/	已许可
39	64 排螺旋 CT	西门子 somatom definition	140kV,515mA	III 类		已办理	/	已许可
40	ECT	INFINIA VC HAWKEYE 4	125kV,5mA	III 类	东街院区孙中山纪念楼二楼	已办理	已验收	已许可
41	模拟定位	东芝 LX-40A	120kV,200mA	III 类	东街院区孙中山纪念楼一楼放疗科	已办理	/	已许可
42	直线加速器	VARIAN 23EX	16MeV	II 类		已办理	已验收	已许可
43	DR	锐珂 DRX Evolution Plus	150kV,1000mA	III 类	妇产院区门诊楼一层影像科	已办理	/	已许可

表 1-10 医院原有射线装置情况一览表（续表）

序号	装置名称	规格型号	技术参数	类别	辐射活动场所名称	环评手续	环保验收	许可情况
44	口腔 X 光机	悦医行 YOU（M）	70kV,4mA	III 类	老年院区二层口腔科	已办理	/	已许可
45	DR	锐珂 DRX Evolution Plus	150kV,1000mA	III 类	老年院区一楼影像科	已办理	/	已许可
46	64 排螺旋 CT	GE Optima CT670	140kV,700mA	III 类		已办理	/	已许可
47	大孔径 CT 模拟定位机	Philips CT Big Bore	140kV,667mA	III 类	同心楼负一楼放疗科	已办理	/	已许可
48	医用电子直线加速器	True Beam	10MeV	II 类		已办理	已验收	已许可
49	医用直线加速器	待定	6MV	II 类	城东院区二期病房楼地下一层加速器治疗室	已办理	未验收	未许可
50	医用直线加速器	待定	15MV	II 类		已办理	未验收	未许可
51	TOMO 治疗仪	待定	治疗射束 6MV，成像射束 3.5MV	II 类	城东院区二期病房楼地下一层 TOMO 治疗室	已办理	未验收	未许可
52	DSA	待定	125kV,1000mA	II 类	城东院区二期病房楼五层 DSA 室	已办理	未验收	未许可
53	DSA	待定	125kV,1000mA	II 类		已办理	未验收	未许可
54	DSA	待定	125kV,1000mA	II 类		已办理	未验收	未许可
55	DSA	待定	125kV,1000mA	II 类		已办理	未验收	未许可
56	DSA	待定	125kV,1000mA	II 类		已办理	未验收	未许可
57	DSA	待定	125kV,1000mA	II 类	综合楼一层 DSA 室	已办理	未验收	未许可
58	PET-CT	待定	140kV,800mA	III 类	城东院区二期病房楼地下一层核医学科 PET-CT 扫描室	已办理	未验收	未许可
注：/表示备案登记表无需开展竣工环境保护验收。								

1.9.2 原有核技术利用项目管理情况

1.辐射防护管理制度

根据《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》等相关法律法规要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应有“健

全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射应急措施”。

医院已根据相关要求成立了辐射安全与环境保护管理委员会，制定了一系列辐射管理制度：包括《关于成立辐射安全与环境保护管理委员会的通知》、《关于修订印发泉州市第一医院辐射事故应急预案的通知》、《个人剂量监测、辐射环境监测方案》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性药品管理制度》、《放射源使用登记使用管理制度》、《射线装置设备使用登记制度》、《辐射安全许可证管理制度》、《设备维修维护保养工作制度》、《关于重新修订放射工作人员职业健康管理方案的通知》、《DSA 操作规程》、《PET、SPECT 操作规程》、《放射性药品分装操作规程》。

医院制定的辐射安全管理制度具有一定的针对性和可操作性，可以满足医院原有核技术利用项目运行的管理需求。本项目运行前需制定完善 ^{90}Y 树脂微球手术相关辐射管理制度以及相应操作规程，并不断更新其他相应的辐射管理制度。

2.辐射工作人员培训、个人剂量监测和职业健康检查

①医院现有辐射工作人员共 212 名，其中本项目配备有 10 名辐射工作人员，主要依托核医学科和介入科的工作人员。本项目配备的人员均已取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩合格单，且均在有效期内。

②本项目辐射工作人员均已配备个人剂量计，已定期（90 天）送有资质单位（长润安测科技有限公司）进行个人剂量监测，建立了个人剂量监测档案。本项目辐射工作人员 2025 年各季度和年度个人剂量监测结果统计见表 1-11。

表1-11 本项目辐射工作人员2025年度个人剂量监测结果一览表 单位：mSv

序号	姓名	2025年第一季度			2025年第二季度			2025年第三季度			2025年第四季度			2025年度个人剂量当量
		内	外	有效剂量	内	外	有效剂量	内	外	有效剂量	内	外	有效剂量	
1	王	0.02	0.02	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
2	王	0.02	0.05	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
3	陈	0.02	0.02	0.02	0.08	0.27	0.08	0.02	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.14
4	朱	0.06	1.92	0.14	0.75	#0.13	0.14	0.07	1.89	0.15	0.25	2.49	0.32	0.74
5	连	0.02	0.02	0.02	0.02	0.19	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
6	柯	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
7	范	0.02	0.12	0.02	0.02	0.13	0.02	0.02	0.11	0.02	0.02	0.05	0.02	0.08
8	傅	0.02	0.02	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
9	吴	0.02	0.02	0.02	0.02	0.21	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.09
10	王	0.02			0.12			0.02			0.02			0.18
注：#标注的结果为名义剂量。														

根据上表统计结果，本项目配备的辐射工作人员 2025 年度个人剂量当量检测结果最大值为 0.74mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业照射的剂量限值要求。

③医院已定期（两年一次）组织辐射工作人员进行职业健康检查并建立健康体检档案。本项目配备的辐射工作人员均已进行职业健康检查，检查报告结论均为可继续原放射工作，具体职业健康检查情况见表 1-12。

表1-12 本项目辐射工作人员职业健康检查情况一览表

序号	姓名	检查时间	检查类别	检查结果	职业健康检查机构
1	王	2024年11月15日	在岗期间	可继续原放射工作	泉州东南医院
2	王	2024年11月12日	在岗期间	可继续原放射工作	
3	陈	2024年12月06日	在岗期间	可继续原放射工作	
4	朱	2024年12月04日	在岗期间	可继续原放射工作	
5	连	2024年11月14日	在岗期间	可继续原放射工作	

6	柯	2024年11月30日	在岗期间	可继续原放射工作	泉州东南医院
7	范	2024年11月28日	在岗期间	可继续原放射工作	
8	傅	2024年11月14日	在岗期间	可继续原放射工作	
9	吴	2024年11月28日	在岗期间	可继续原放射工作	
10	王	2024年12月05日	在岗期间	可继续原放射工作	

3.放射性“三废”处理情况

①放射性废水：医院已在核医学科南侧设置了两座槽式衰变池，分别用于收集处理核医学科显像诊断区域和核素治疗区域产生的放射性废水。根据生态环境部辐射源安全监管司辐射函〔2023〕20号规定，核素治疗区域衰变池废水暂存180天后，衰变池废水可以直接排放至医院污水管网内，如暂存不满180天需排放的委托通过资质认定的第三方检测机构进行检测，检测结果表明^{131}I活度浓度不高于10Bq/L，也可直接排放至医院污水管网内；显像诊断区域衰变池废水所含核素主要为^{99m}Tc和^{18}F，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）标准规定，显像诊断区域衰变池废水暂存时间超过30天后可排放至医院污水管道。

②放射性废气：医院核医学科在分装室设置通风柜，放射性药物的分装、抽取等操作均在通风柜内操作，通风柜的废气通过独立管道引至同心楼建筑楼顶排放；核医学科相关功能用房设置有排风系统，排风管道汇至排风井经过滤后由独立管道引至同心楼建筑楼顶；射线装置机房内采用设置排风系统或换新风空调进行换气通风。

③放射性固废：密封放射源拟在使用期满后由厂家回收处置；其他放射性固废，暂存在核医学科固废间放射性废物桶内衰变相应时间后，且经检测达到清洁解控水平后，作为医疗废物处理。

4.年度评估报告情况

医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况进行评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告。

1.9.3 与原有核技术利用项目依托情况

（1）辐射工作场所及设备依托关系说明

本项目依托现有同心楼负一楼核医学科分装注射室进行^{99m}Tc和^{90}Y药物的接收、

抽取和活度测量工作，依托核医学科已安装的 NM/CT 860 型 SPECT/CT 开展患者影像检查，依托现有同心楼五楼介入 DSA2 室及机房内一安装的一台 Azurion 5 M20 型 DSA 进行 ^{90}Y 树脂微球治疗手术，本项目不再新增其他射线装置。所依托的核医学科 SPECT/CT 工作场所及 DSA2 室核技术利用项目环境影响报告表已于 2019 年 12 月取得了福建省生态环境厅出具的环评批复（闽环辐评〔2019〕53 号），核医学科 SPECT/CT 工作场所已于 2024 年 5 月通过了自主竣工环境保护验收，DSA2 室也于 2024 年 12 月通过了自主竣工环境保护验收（详见附件 4、附件 6 和附件 7）。^{90}Y 患者住院病房为住院楼普通病房改造，不存在依托关系。

（2）辐射工作人员依托关系说明

本项目依托现有核医学科辐射工作人员进行^{99m}Tc和^{90}Y药物的接收、抽取和活度测量的操作、SPECT/CT影像检查和放射性药物运送。依托现有介入科辐射工作人员进行^{99m}Tc和^{90}Y药物介入注射、注射后患者的转运和住院患者的护理。

（3）辐射安全管理制度依托关系说明

本项目依托医院原制定的一系列辐射管理制度的同时，在本项目运行前，应根据项目实际情况制定^{90}Y树脂微球手术相关辐射管理制度以及相应操作规程，在项目日常运行情况下不断完善相关管理制度，一并纳入原有管理制度体系中。只要在日常工作中严格执行相关制度，能够满足核技术利用项目的管理要求。

（4）辐射监测设备依托关系说明

为确保本项目辐射工作场所及辐射工作人员的辐射监测工作正常开展，依托医院原配备的1台RadPavise-H型便携式X、γ辐射周围剂量当量率仪（RadPavise-H型）和1台α、β表面污染仪（主机：RadPavise-H，探头：RadPavise-AB）用于开展本项目的辐射日常监测。

（5）辐射安全装置和防护用品依托关系说明

本项目核医学科和DSA2室所需的个人防护用品和辅助防护用品大部分依托科室内原有防护用品，本项目新增部分 ^{90}Y 树脂微球治疗手术专用防护用品及配件。核医学科和 DSA2 室辐射安全防护设施依托科室原有的辐射防护屏蔽、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等。^{90}Y 患者住院病房新增相应的辐射安全防护设施，不存在依托关系。

表 2 放射源

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

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	贮存方式和地点
1	^{90}Y	悬浮液，中毒，半衰期 64.2h	使用	9.00E+09	9.00E+07	6.00E+11	治疗	抽取、活度测量	同心楼负一楼核医学科	核医学科分装注射室
2	^{90}Y	悬浮液，中毒，半衰期 64.2h	使用	7.50E+09	7.50E+07	5.00E+11	治疗	介入注射	同心楼五楼介入 DSA2 室	不贮存
3	^{99m}Tc	液体，低毒，半衰期 6.02h	使用	1.11E+09	1.11E+06	7.40E+10	显像	分装、抽取	同心楼负一楼核医学科	核医学科分装注射室
4	^{99m}Tc	液体，低毒，半衰期 6.02h	使用	8.88E+08	8.88E+05	5.92E+10	显像	介入注射	同心楼五楼介入 DSA2 室	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	医用数字减影血管造影 X 射线机（DSA）	II 类	1	Azurion 5M20	125	1000	介入	同心楼五楼介入 DSA2 室	已有
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

（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

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
放射性废水	液态	^{90}Y、^{99m}Tc	-	-	-	-	收集后，存放于核医学科短半衰期衰变池内暂存衰变	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，所含半核素衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期的后排入医院排水系统
放射性废气	气态	^{90}Y、^{99m}Tc	-	-	-	-	不暂存	经排风管道引至室外排放。
臭氧、氮氧化物	气态	-	-	-	少量	-	不暂存	经排风管道引至室外排放。
放射性固废	固态	^{90}Y、^{99m}Tc	-	-	-	-	收集后，存放于固废间专用衰变暂存桶内	所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含半核素衰期大于 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后，作为普通医疗废物处理
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

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

表 6 评价依据

法规文件	1.《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订），中华人民共和国主席令第 9 号公布，2015 年 1 月 1 日起施行； 2.《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正），中华人民共和国主席令第 24 号公布，2018 年 12 月 29 日起施行； 3.《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行； 4.《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布，于 2017 年 7 月 16 日根据《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》修订）； 5.《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日中华人民共和国国务院令第 449 号公布，于 2019 年 3 月 2 日根据《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令第 709 号）第二次修订）； 6.《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 16 号公布，自 2021 年 1 月 1 日起施行； 7.《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起实施）； 8.《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修改版，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日发布实施）； 9.《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 日起实施）； 10.《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第 55 号，2007 年 11 月 1 日起施行）； 11.《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号，自 2024 年 2 月 1 日起施行； 12.《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；

法规文件	13.《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）； 14.《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日； 15.《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； 16.《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年第39号，2019年10月25日生成； 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，2020年1月1日起施行； 18.《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、国家国防科技工业局公告2017年第65号）； 19. 关于印发《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》的通知，（环办辐射函〔2025〕313号）； 20.《关于核医学标准相关条款咨询标准复函》（辐射函〔2023〕20号）； 21.《突发环境事件应急管理办法》（环境保护部令第34号，2015年6月5日起实施）； 22.《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》，闽环保辐射〔2023〕10 号，2013 年 3 月 15 日印发； 23.《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》，2020年9月23日发布。
技术标准	1.《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）； 2.《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； 3.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 4.《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；

技术标准	5.《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98-2020）； 6.《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； 7.《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； 8.《临床核医学的患者防护与质量控制规范》（GB 16361-2012）； 9.《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； 10.《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； 11.《核医学放射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； 12.《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； 13.《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）； 14.《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； 15.《钇[^{90}Y]树脂微球临床治疗放射防护要求》T/WSJD 45-2023； 16.《核医学钇-90 微球辐射防护与安全要求》（T/ACEF 136-2024）。
其他	1. 李德平 潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》、《辐射防护手册第三分册 辐射安全》（原子能出版社），1987 年； 2.《辐射防护导论》（原子能出版社），2010 年； 3.《辐射剂量与防护》（电子工业出版社），2015 年 4.《中国环境天然放射性水平》（原子能出版社出版，2015 年）； 5.《生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序（2020 版）》； 6. 中国疾病预防控制中心放射防护与核安全医学所《钇【^{90}Y】树脂微球选择性内放射治疗放射防护检测与剂量评估报告》； 7.《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险分析研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）； 8.《钇[^{90}Y]树脂微球介入治疗的放射防护评估》中国辐射卫生 2021 年 12 月第 30 卷第 6 期； 9. 医院提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 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）的相关规定：“以项目实体边界为中心，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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于I类放射源或I类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所、所使用的射线装置为 II 类射线装置，因此根据《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），本项目评价范围为核医学科和 DSA2 室实体边界外 50m 范围，详见图 1-3。

7.2 保护目标

根据本项目特点，本项目环境保护目标为辐射工作所在机房临近的职业工作人员和工作场所周围的其他非辐射工作人员以及公众，项目环境保护目标详见下表：

表 7-1 环境保护目标一览表

项目场所名称	场所周边环境情况	相对位置关系		保护目标	规模/人
		方位	距离（m）		
负一楼核医学科	核医学科内部控制区	内部	内部	辐射工作人员	约 6 人
	核医学科内部监督区	内部	内部	辐射工作人员、其他非辐射工作人员和公众	若干
	放疗中心候诊厅、通道、模拟定位室以及其他配套用房	东北	0-24	辐射工作人员、其他非辐射工作人员和公众	若干
	放疗中心医护用房、通道、放射治疗室及其他配套用房	东南	0-35	辐射工作人员、其他非辐射工作人员和公众	若干
	电梯厅、通道和消防水池等	西北	0-34	辐射工作人员、其他非辐射工作人员和公众	若干
	负一楼停车场	西南	0-50	公众	若干
	影像科检查室及其他配套用房	上	紧邻	辐射工作人员、其他非辐射工作人员和公众	若干
	战时用房	下	紧邻	/	约 0 人

五楼介入中心DSA2室	DSA2 室内	内部	内部	辐射工作人员	约 4 人
	操作台、控制廊	西南	0-3	辐射工作人员	约 4 人
	资料室、铅衣存放间		3-8	辐射工作人员、其他非辐射工作人员	约 5 人
	医护办公室、通道		8-13	其他非辐射工作人员	约 5 人
	通道、等候苏醒室	东南	0-8	辐射工作人员、其他非辐射工作人员	约 5 人
	设备间、导管间、患者准备区	东北	0-7	辐射工作人员、其他非辐射工作人员	约 5 人
	家属等候区		7-14	其他非辐射工作人员和公众	若干
	心血管疾病患者监护区及相关配套用房		14-50	其他非辐射工作人员和公众	若干
	DSA3 室～DSA5 室、术前等候室、无菌器械室、库房、通道	西北	0-29	辐射工作人员、其他非辐射工作人员	若干
	DSA 杂交手术室、控制室、铅衣存放间、污洗间		29-45	辐射工作人员、其他非辐射工作人员	若干
	医生办公室和值班室		45-50	其他非辐射工作人员	约 5 人
	平台	上	紧邻	公众	若干
	库房	下	紧邻	其他非辐射工作人员	约 2 人

7.3 评价标准

（一）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

（1）附录 B 剂量限值和表面污染控制水平

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 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：

a）由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b）任何一年中的有效剂量，50mSv；

c）眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d）四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

根据本项目情况，本项目辐射工作人员有效剂量管理目标值为 5mSv/a。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a）年有效剂量：1mSv；

b）特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

c）眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d）皮肤的年当量剂量，50mSv。

本项目中，辐射工作场所周围非辐射工作人员及公众人员接受的有效剂量管理目标值为 0.1mSv/a。

（2）工作场所分区

根据 GB18871-2002 中 6.4 规定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。

6.4.1 控制区

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

2）在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合规定的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

3）制定职业防护与安全措施，包括适用于控制区的规则与程序。

4）运用行政管理程序和实体屏蔽限制进出控制区。

5）按需要在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的储存柜。

6）定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

6.4.2 监督区

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

2）在监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标牌。

3）定期审查该区的条件，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。

（3）非密封源工作场所的分级

根据 GB18871-2002 附录 C 给出了非密封源工作场所的分级标准，详见下表：

表 7-2 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

（二）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和辐射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附录 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。本项目核医学工作场所（同心楼负一楼核医学科、五楼介入中心 DSA2 室和住院楼二楼病房）的放射性表面污染控制水平见表 7-3。

表 7-3　核医学工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		β放射性物质（Bq/cm^2）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区（高污染子区除外）	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

附录 K，个人防护用品和应急去污用品

K.1 个人防护用品

表 7-4 个人防护用品

场所类型	工作人员		患者或受检者
	必备	选备	
普通核医学工作场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	-

K.2 应急及去污用品

主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

（三）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4 总则

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6 工作场所的辐射安全与防护

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。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

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。

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

0.4Bq/cm^2。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3.1 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 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、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

（四）《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

6.1X 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的防护要求。

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

表 7-5 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
单管头 X 射线设备	20	3.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

表 7-6 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
C 型臂 X 射线设备机房	2	2

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足上表的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b）CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影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示标识；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

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（本报告中表 7-7）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。

表 7-7 介入放射学操作个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	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	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	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	-
注 1：“一”表示不做要求。 注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				

（五）《核医学钇-90 微球辐射防护与安全要求》（T-ACEF36-2024）

5 辐射防护要求

5.1 平面布局和分区

5.1.1 工作场所平面布局应满足 GB18871、GBZ120 和 HJ1188 的相关要求。

5.1.2 工作场所应设置合理的工作人员路线图并合理规划药物、患者转运路径，转运路线应避开产科、儿科和食堂等场所，以及人群密集的通道、门诊大厅、收费处等场所。

5.1.3 工作场所应设置贮存室、分装室、准备室、放射性废物贮存场所、介入手术

室、专用病房、显像检查室等功能用房，功能用房不应接邻产科、儿科、食堂等场所，出口尽量避开人群稠密区域。工作场所需设置员工休息室、护士站、缓冲间、更衣室、卫生间、清洁用品储存场所等辅助用房。

5.1.4 工作场所应划分为控制区和监督区。放射性药物贮存室、分装室、准备室、手术室、专用 病房、放射性废物贮存场所等功能用房应划分为控制区。员工休息室、护士站、缓冲间、更衣室、 卫生间等辅助用房一般划分为监督区。

5.2 辐射防护水平

5.2.1 在控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率应不大于 10 μSv/h；分装柜或通风柜柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率应不大于 25 μSv/h。同时工作场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

5.2.2 距离储源容器表面 5cm 和 100cm 处周围剂量当量率应分别不超过 25 μSv/h 和 2.5 μSv/h。

5.2.3 储源容器外表面的污染控制水平：β＜4 Bq/cm^2；废物包装体外表面的污染控制水平：β＜0.4 Bq/cm^2。

5.2.4 表面污染控制水平应满足 1 表的要求（详见表 7-3）。

5.3 辐射防护措施

5.3.1 贮存钇-90 微球应满足 GBZ114 和 GBZ120 的相关要求。

5.3.2 使用钇-90、锝-99m 放射性核素以及 DSA、SPECT 等设备时，工作场所防护措施应满足 GBZ120 和 GBZ130 的相关要求。

5.3.3 工作场所的通风设施应满足 HJ1188 和 GBZ120 的相关要求。

5.3.4 应在手术室等设置可移动的放射性废物桶，并设置电离辐射警告标志。

6 操作中的辐射防护

6.1 钇-90 微球操作中的辐射防护

6.1.1 钇-90 微球的操作放射防护应满足 GBZ120 的相关要求。

6.1.2 装载钇-90 微球的容器应有相应屏蔽防护。

6.1.3 药物转运时，应采用屏蔽转运容器或储源容器。

6.1.4 应制定详细可行的辐射防护实施方案，方可实施手术。

6.1.5 手术结束拔除输送针管时，应尽量避免输送针管内的液体喷洒，并做好防污染处置和废物处理。

6.1.6 如钇-90 微球遗洒而发生污染，应封闭工作场所，将源密封在储源容器中，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所去污和人员应急处理。

6.1.7 工作人员在离开放射性工作场所前，应洗手和进行表面污染检测。

6.2 个人防护用品、辅助用品及去污用品

6.2.1 为放射工作人员、患者和陪护人员配备适宜的防护用品，应满足 GBZ120 和 GBZ130 的相关 要求。

6.2.2 应配备一次性防水手套、口罩、安全眼镜、去污剂或喷雾、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、胶带、标签和不透水的塑料布等去污用品。

6.2.3 应配备注射器有机玻璃防护套、储源容器、托盘、长柄镊子、长柄钳和放射性废物桶等辅助用品。

8 住（出）院患者的管理要求

8.1 进行钇-90 微球治疗的患者宜使用专用病房，并配备对讲、监控等设施。如无专用病房，病人床边 1 m 处应划为临时控制区。

8.2 对住院患者近距离护理，或转移术后患者时，宜在患者右上腹部肝区体表铺设不小于铅当量 0.5 mm Pb 的铅橡胶方巾，护理人员穿戴不小于铅当量 0.5 mmPb 的个人防护用品。

8.3 患者离院前，医疗机构应提供书面和口头的放射防护指导，以便在出院后，能有效减少对家庭成员、护理人员和公众所造成的照射，特别是未成年人和孕妇。

8.4 出院患者应建立登记制度并给患者提供一张信息卡，信息卡内容应包括：患者姓名、住址、电话、年龄、有效个人证件号码、治疗部位、医院及电话、检查和治疗日期等。

8.5 其他住（出）院管理（包含尸检过程）应满足 GBZ 120 和 HJ 1188 的相关要求。

（六）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/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。

三、关于独立通风要求

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

（七）本次核技术利用项目限值要求汇总

本次核技术利用项目限值要求汇总详见表 7-8。

表 7-8　限值要求汇总表

剂量情况	约束值	本项目控制限值	标准依据
辐射工作人员	连续 5 年的年平均有效剂量：20mSv；任何一年中的有效剂量，50mSv；四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。	辐射工作人员有效剂量管理目标值≤5mSv/a；四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量：125mSv。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
公众人员	年有效剂量：1mSv	≤0.1mSv/a	
剂量情况	剂量约束要求		标准依据
机房要求	最小有效使用面积不小于 20m^2，最小单边长度不小于 3.5m。		《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)
屏蔽防护铅当量厚度要求	机房屏蔽防护铅当量不小于 2.0mmPb		
辐射防护水平	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；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μSv/h。	
	在核医学控制区外距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h	《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）
	（1）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。（2）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。	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）
	（1）在控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率应不大于 10 μSv/h；分装柜或通风柜柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率应不大于 25 μSv/h。同时工作场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。（2）距离储源容器表面 5cm 和 100cm 处周围剂量当量率应分别不超过 25 μSv/h 和 2.5 μSv/h。（3）储源容器外表面的污染控制水平：β＜4 Bq/cm^2；废物包装体外表面的污染控制水平：β＜0.4 Bq/cm^2；工作场所的放射性表面污染控制水平详见表 7-8。	《核医学钇-90 微球辐射防护与安全要求》（T-ACEF36-2024）
排风要求	（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。（2）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。（3）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	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

	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。	
放射性废物	放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于 4Bq/cm^2、其他α发射体应小于 0.4Bq/cm^2。	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 场所现状

本项目位于福建省泉州市丰泽区安吉南路 1028 号（城东院区）泉州市第一医院同心楼负一楼核医学科（存储、抽取）、同心楼五楼介入 DSA2 室（注射）、住院楼二楼专用病房（33、35、41 床）（留观）。根据现场勘查，同心楼负一楼核医学科 SPECT/CT 工作场所已建成并已配套使用 1 台 NM/CT 860 型单光子发射计算机断层扫描仪（SPECT/CT），目前该 SPECT/CT 处于正常运行状态。同心楼五楼介入 DSA2 室已建成并已配套使用 1 台 Azurion 5M20 型额定管电压为 125kV，额定管电流为 1000mA 的医用数字减影血管造影 X 射线机（DSA），目前该 DSA 处于正常运行状态。住院楼二楼病房已建成，目前暂时作为普通病房使用。本项目利用的核医学科和 DSA2 室不再进行二次防护改造，普通病房改变为 ^{90}Y 专用病房需要进行二次防护改造。

本项目拟在 DSA2 室开展 ^{99m}Tc、^{90}Y 微球介入注射，为一处新增的乙级非密封放射性物质工作场所。

8.2 监测方案及质量控制

本项目为使用II类射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所，主要的污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

监测因子：环境γ辐射剂量率、β表面污染。

监测日期：2026 年 3 月 13 日。

监测点位：监测点位布置见图 8-1～图 8-11。

监测单位：福建宏邦检测技术有限公司（证书编号：23131205A029）

监测依据：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《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/T14056.1-2008）

监测仪器：监测仪器信息见表 8-1：

表 8-1 监测仪器相关信息一览表

仪器名称	便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪	α、β表面污染仪
型号/规格	6150 AD 6+6150 AD-b/H	COMO 170
制造单位	AUTOMESS	德国 NμVIA
仪器量程	5nSv/h-99.99μSv/h	β-γ通道：0-20000cps α通道：0-3000cps
能量范围	20keV~7MeV	20keV-3MeV
检定/校准单位	福建省计量科学研究院	β表面活度响应：53.75s^{-1}· Bq^{-1}·cm^2
检定/校准证书编号	25R2-00151	2025H21-20-6111257001
检定/校准有效日期	2025 年 9 月 26 日至 2026 年 9 月 25 日	2025 年 9 月 17 日至 2026 年 9 月 16 日

质量保证措施：①合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。②监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。③本次监测仪器分别于 2025 年 9 月 17 日和 9 月 26 日经计量部门检定/校准，检定/校准有效期一年，监测期间监测仪器处于有效期内。④由专业人员按照操作规程操作仪器，并做好记录。⑤监测报告严格实行三级审核制度，经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

8.3 辐射现状监测结果

Ⅰ.环境γ辐射剂量率

（1）项目所在场址环境γ辐射剂量率监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目所在场址环境γ辐射剂量率监测结果一览表

序号	检测点位	检测结果（nGy/h）	位置属性
1	核医学科 SPECT/CT 室内	123±1	室内
2	核医学科 SPECT/CT 室东南侧医生通道	151±1	室内
3	核医学科 SPECT/CT 室东北侧控制廊	137±1	室内
4	核医学科 SPECT/CT 室西南侧患者通道	134±1	室内
5	核医学科 SPECT/CT 室西北侧 SPECT 室	142±1	室内
6	核医学科分装注射室内	201±1	室内
7	核医学科分装注射室东北侧卫生通过间	143±1	室内
8	核医学科分装注射室西南侧患者通道	143±1	室内
9	核医学科分装注射室西北侧运动负荷室	152±1	室内
10	核医学科东南侧放疗中心治疗室	149±1	室内
11	核医学科东北侧放疗中心通道	154±1	室内
12	核医学科西南侧停车场	151±1	室内

13	核医学科西北侧电梯厅	153±1	室内
14	核医学科楼上影像科	153±1	室内
15	DSA2 室内	157±1	室内
16	DSA2 室东南侧 DSA1 室	168±2	室内
17	DSA2 室东北侧设备间	120±1	室内
18	DSA2 室东北侧导管间	160±2	室内
19	DSA2 室西南侧控制廊	160±2	室内
20	DSA2 室西北侧 DSA3 室	157±1	室内
21	DSA2 室楼上平台	149±1	室内
22	DSA2 室楼下大厅	150±1	室内
23	住院楼二楼病房内	142±1	室内
24	住院楼二楼病房东北侧走廊	143±2	室内
25	住院楼二楼病房西北侧普通病房	136±1	室内
26	住院楼二楼病房楼上普通病房	137±1	室内
27	住院楼二楼病房楼下大厅	142±1	室内
28	住院楼二楼病房楼下药房	134±1	室内
备注	（1）检测时间：2026年3月13日，天气：晴；温度、湿度：15℃/41%RH； （2）测量时探头距离地面约1m，监测方式为每个测量点测量十次，取平均值，监测结果均扣除宇宙射线响应值（28nGy/h）； （3）根据HJ1157-2021，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取1.20Sv/Gy（137Cs作为检定参考辐射源）； （4）根据 HJ1157-2021，X-γ辐射空气吸收剂量率=仪器测量读数值均值*校准因子 k1*仪器检验源效率因子 k2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k3*测量点宇宙射线响应值 Dc，其中校准因子 k1 为 0.97，仪器使用 137Cs 进行校准，源效率因子 k2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，屏蔽修正因子 k3 取 0.8（楼房）、1（原野、道路），宇宙射线响应值 Dc 为 28nGy/h。		

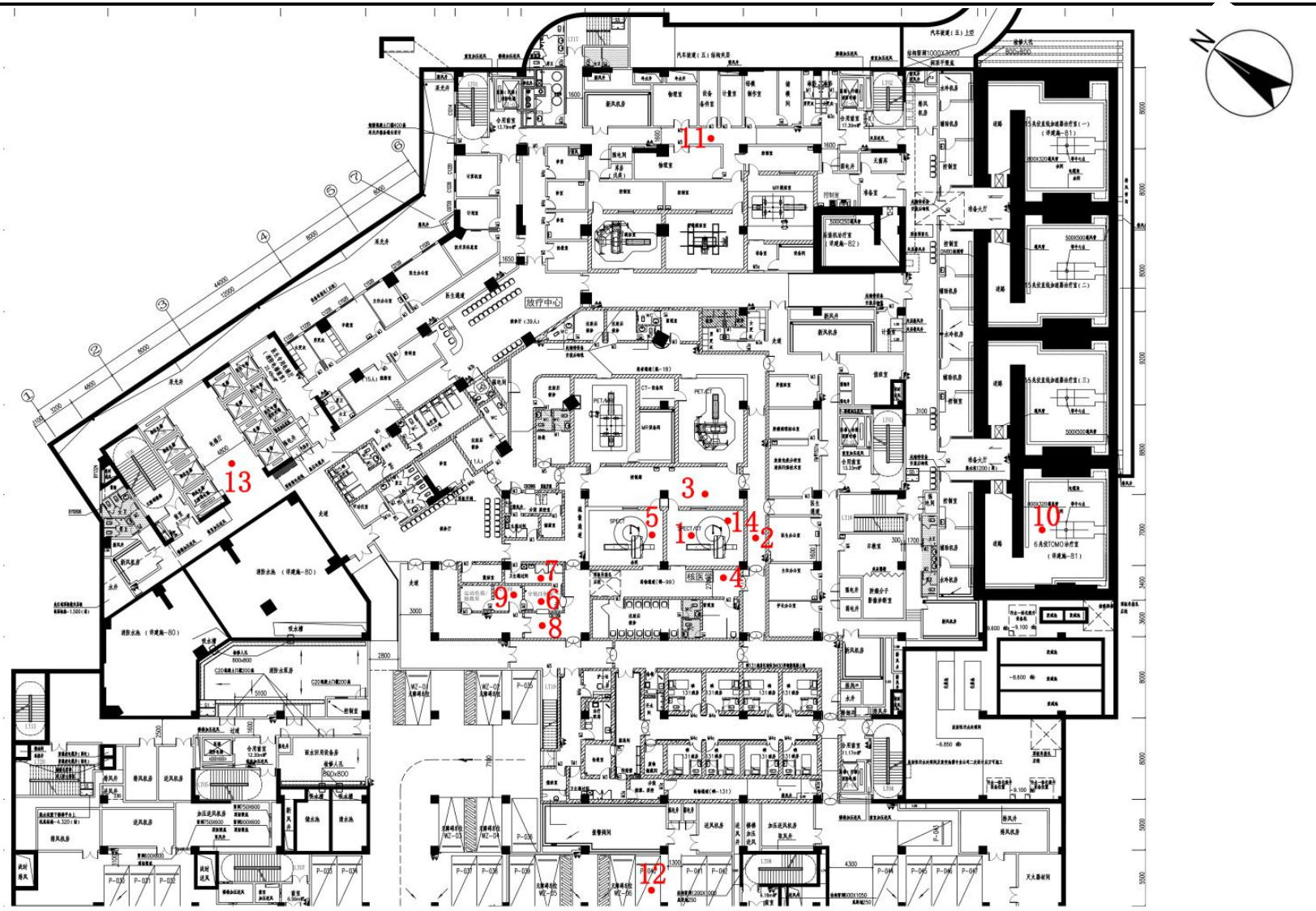


图 8-1 负一楼核医学科环境γ辐射剂量率监测布点图（整体）

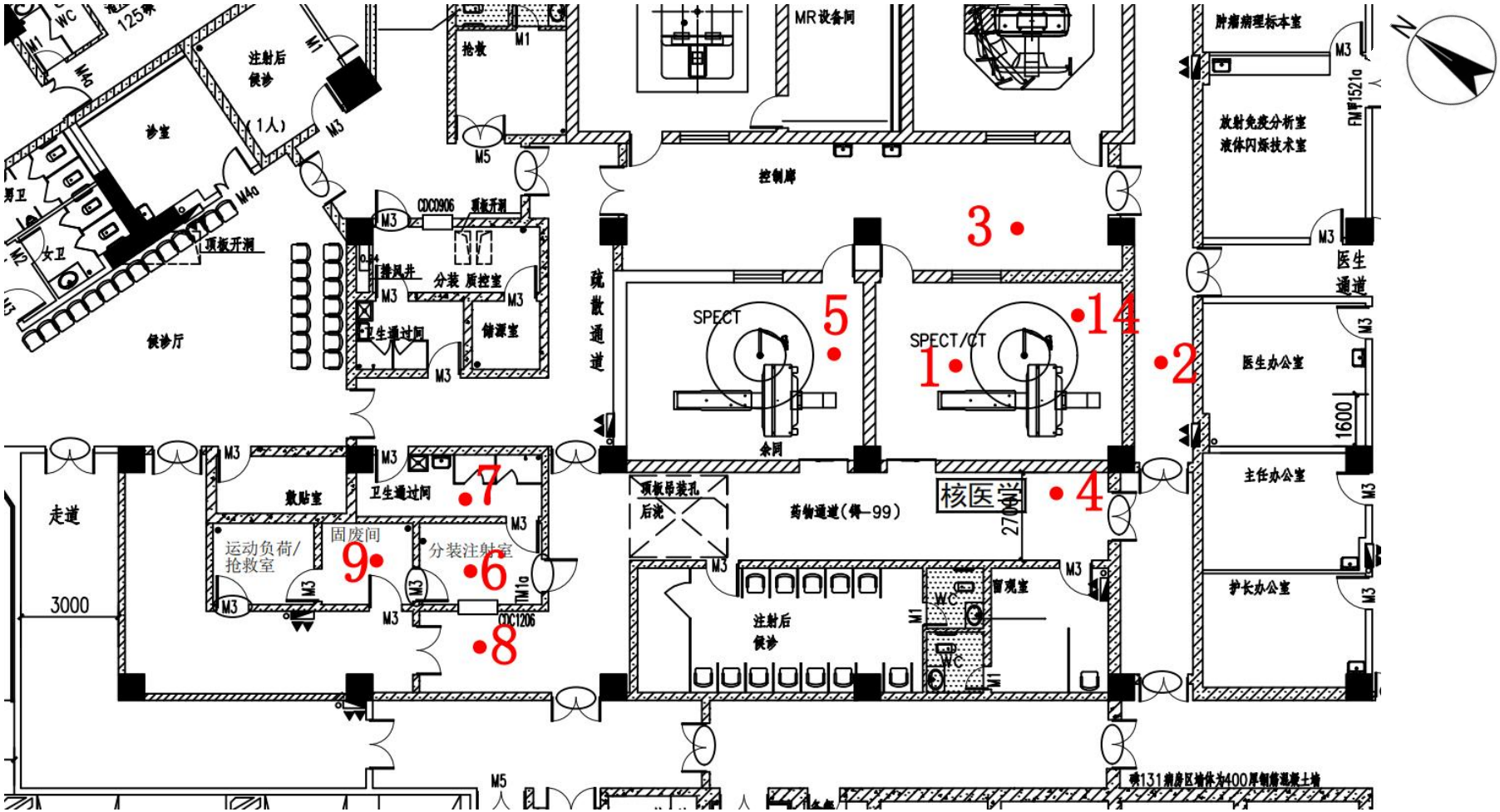


图 8-2 负一楼核医学科环境γ辐射剂量率监测布点图（局部）

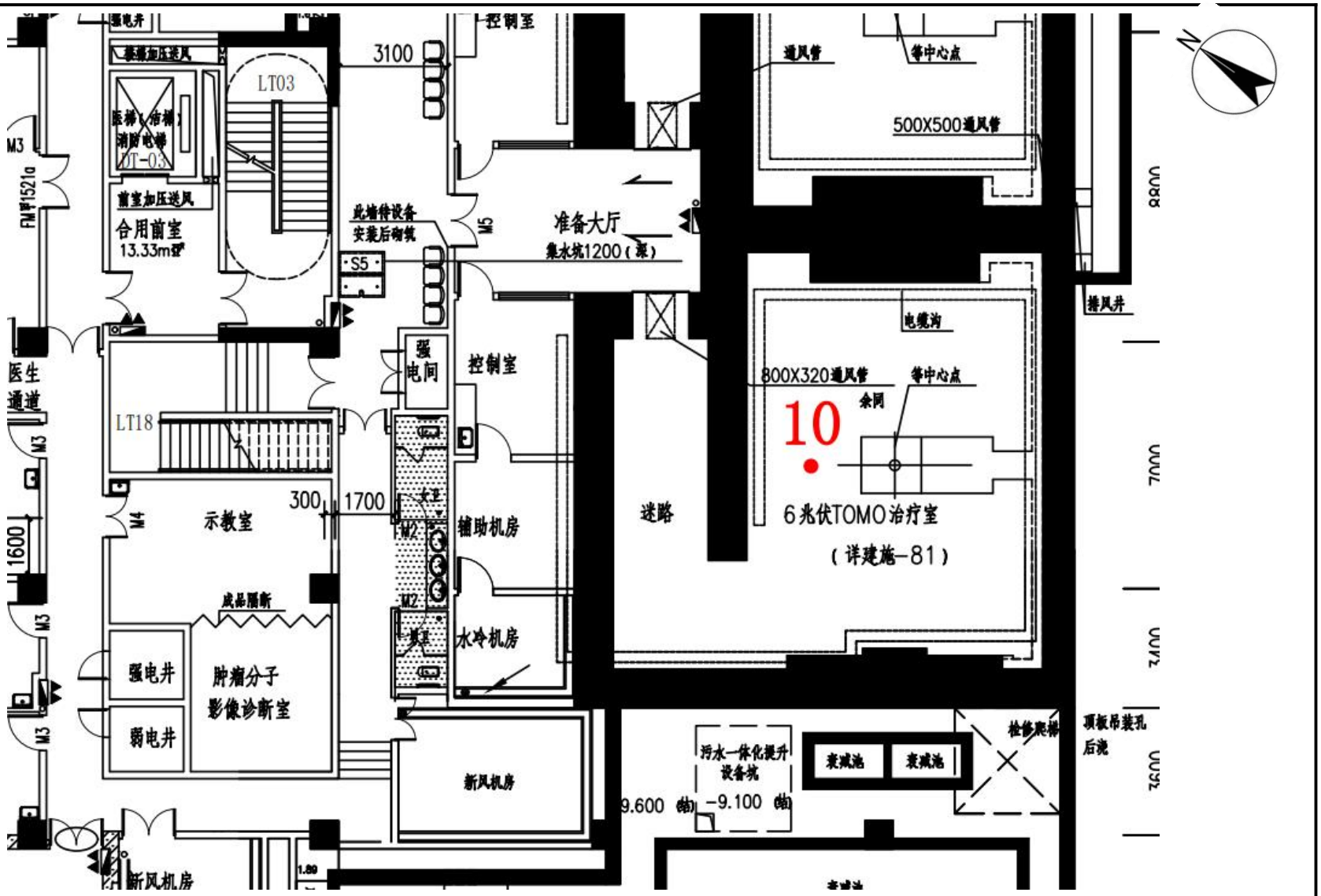


图 8-3 负一楼核医学科环境γ辐射剂量率监测布点图（局部）

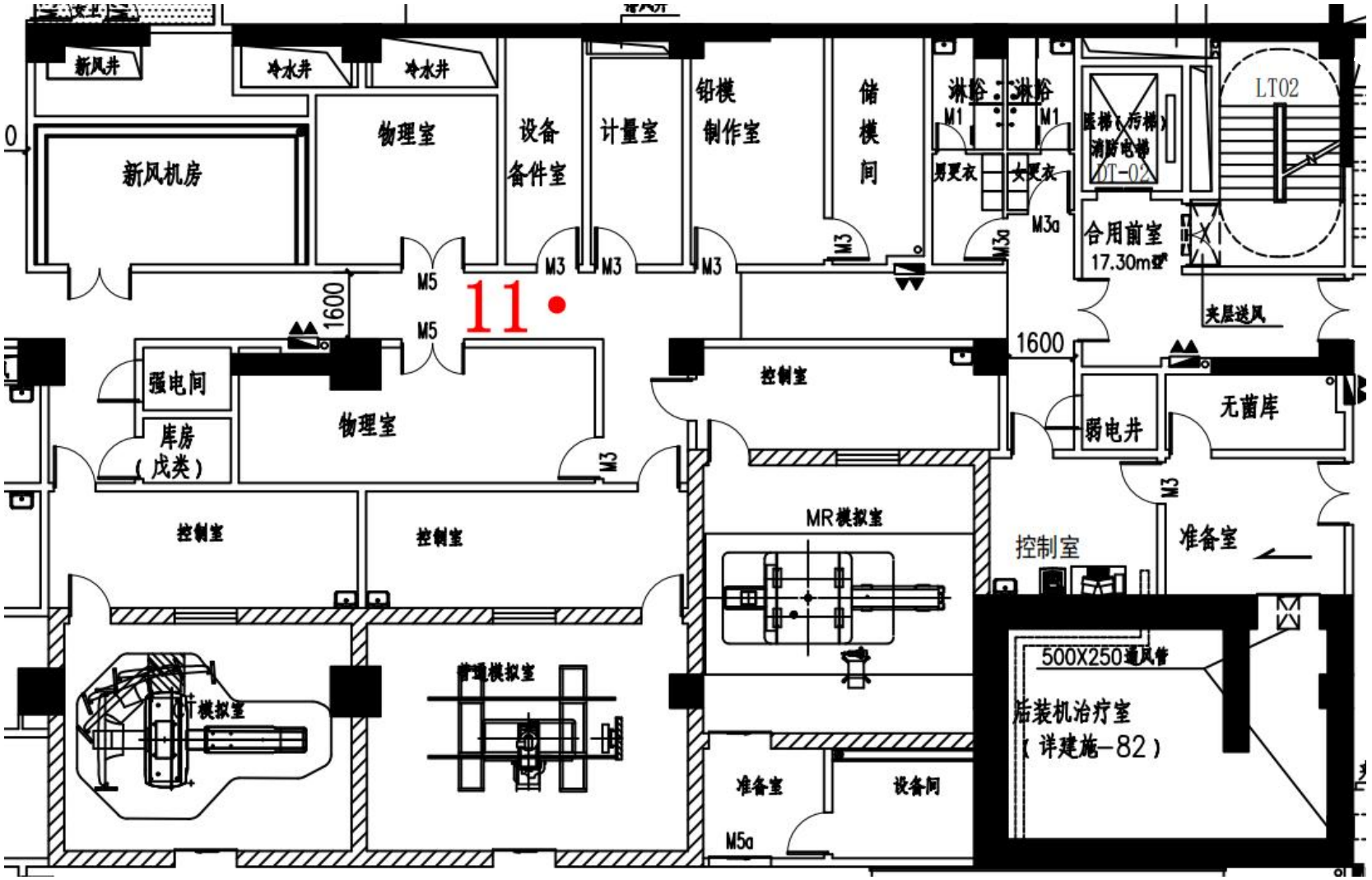


图 8-4 负一楼核医学科环境γ辐射剂量率监测布点图（局部）

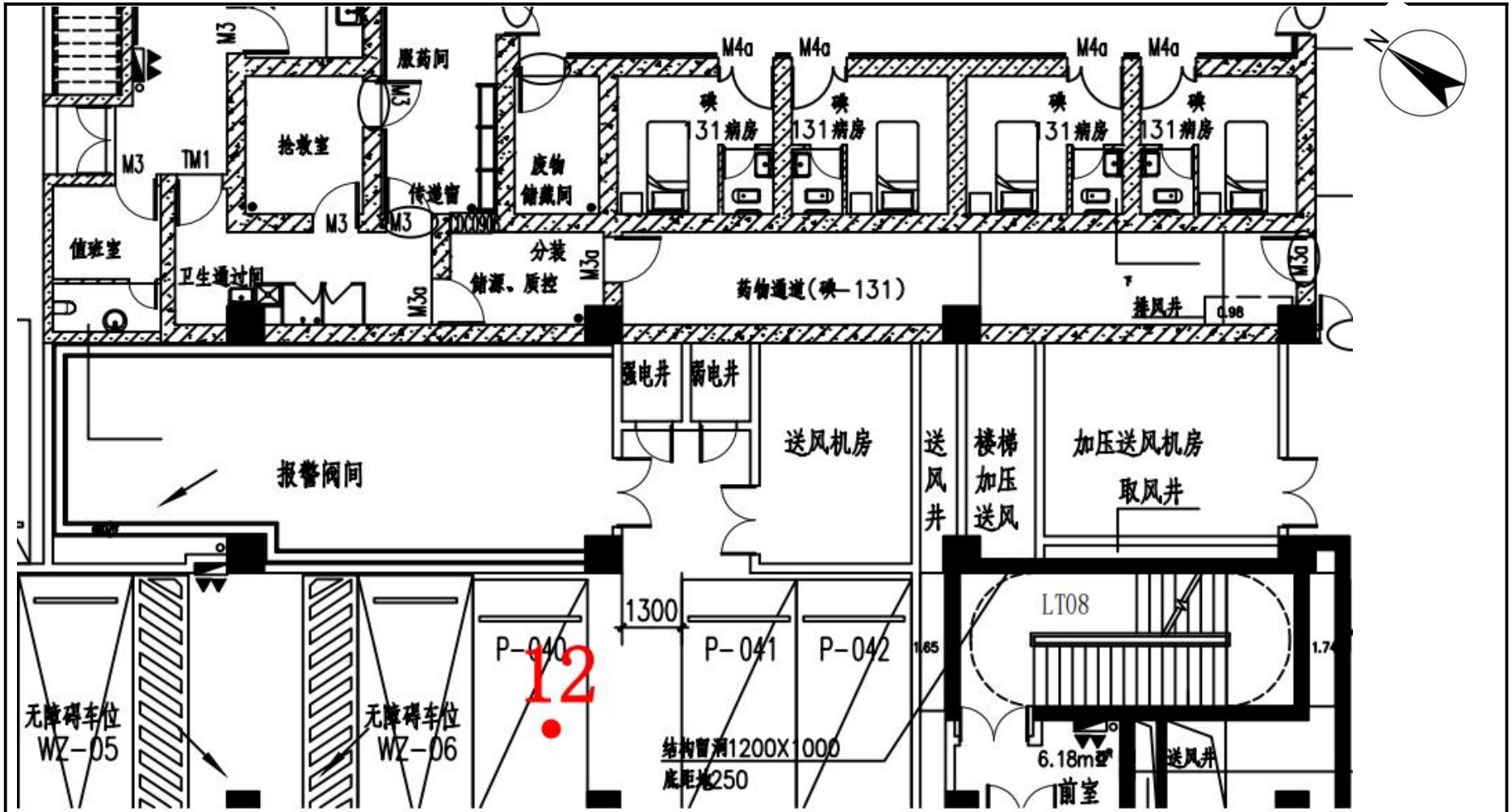


图 8-5 负一楼核医学科环境γ辐射剂量率监测布点图（局部）

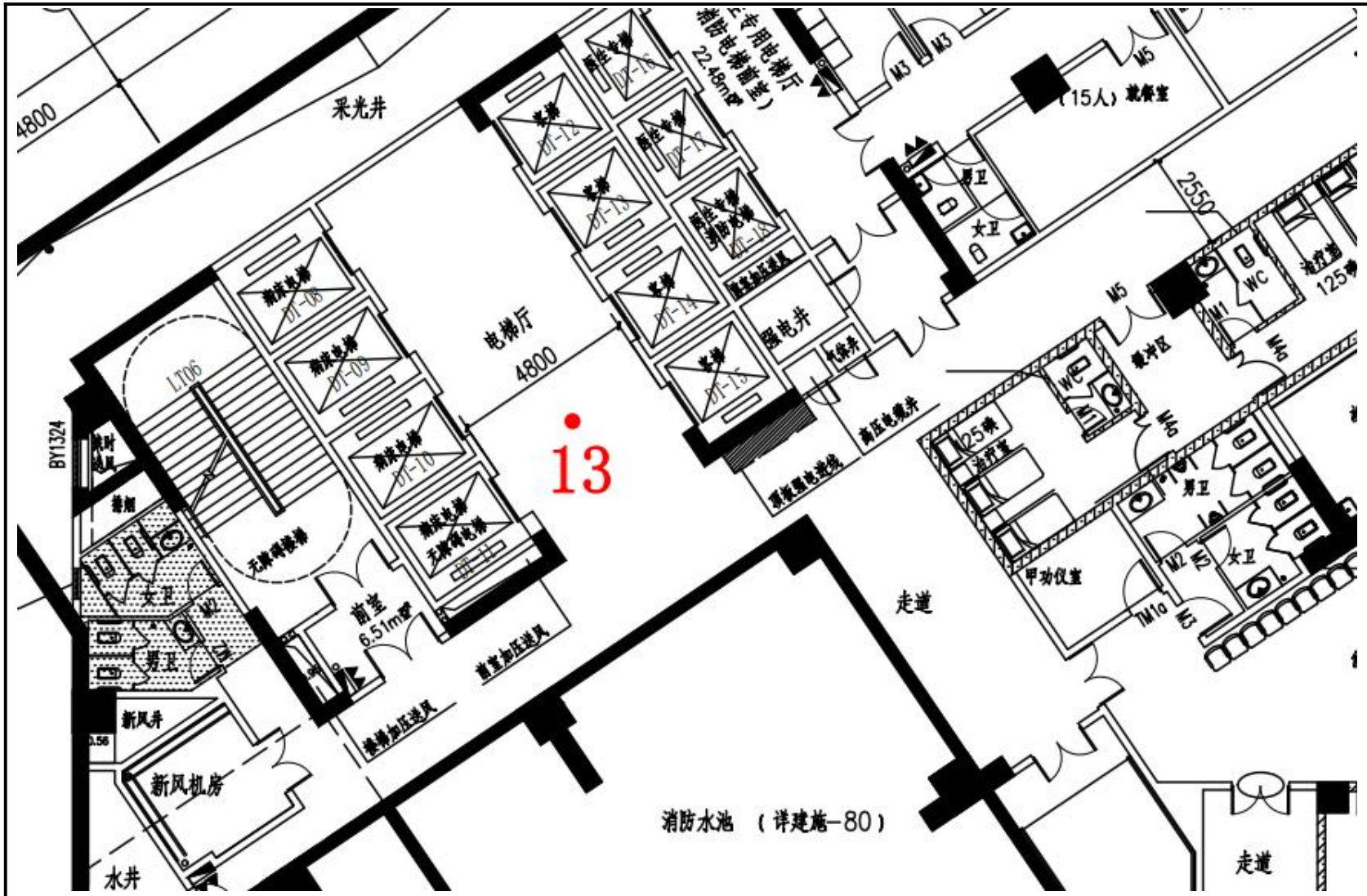


图 8-6 负一楼核医学科环境γ辐射剂量率监测布点图（局部）

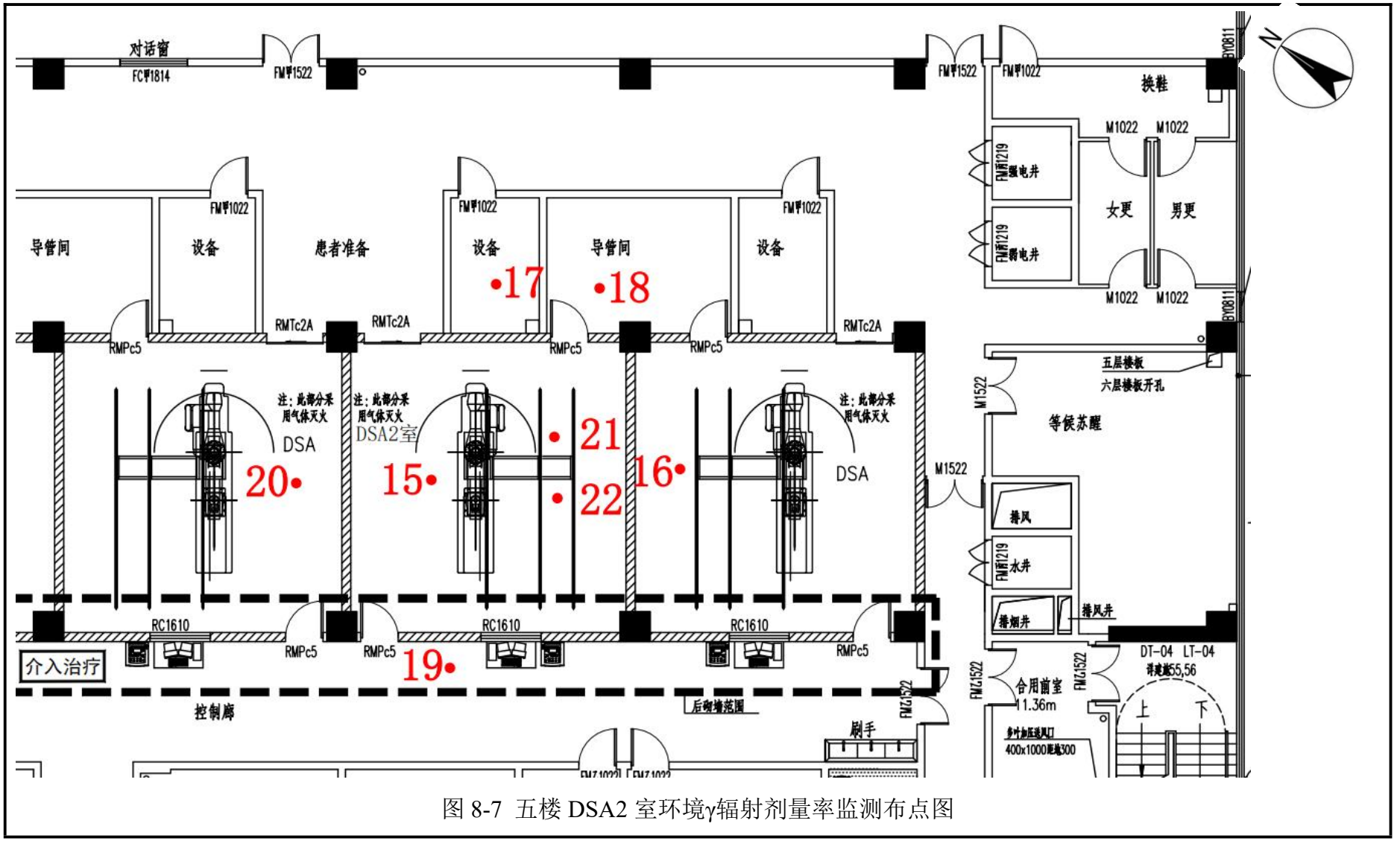


图 8-7 五楼 DSA2 室环境γ辐射剂量率监测布点图

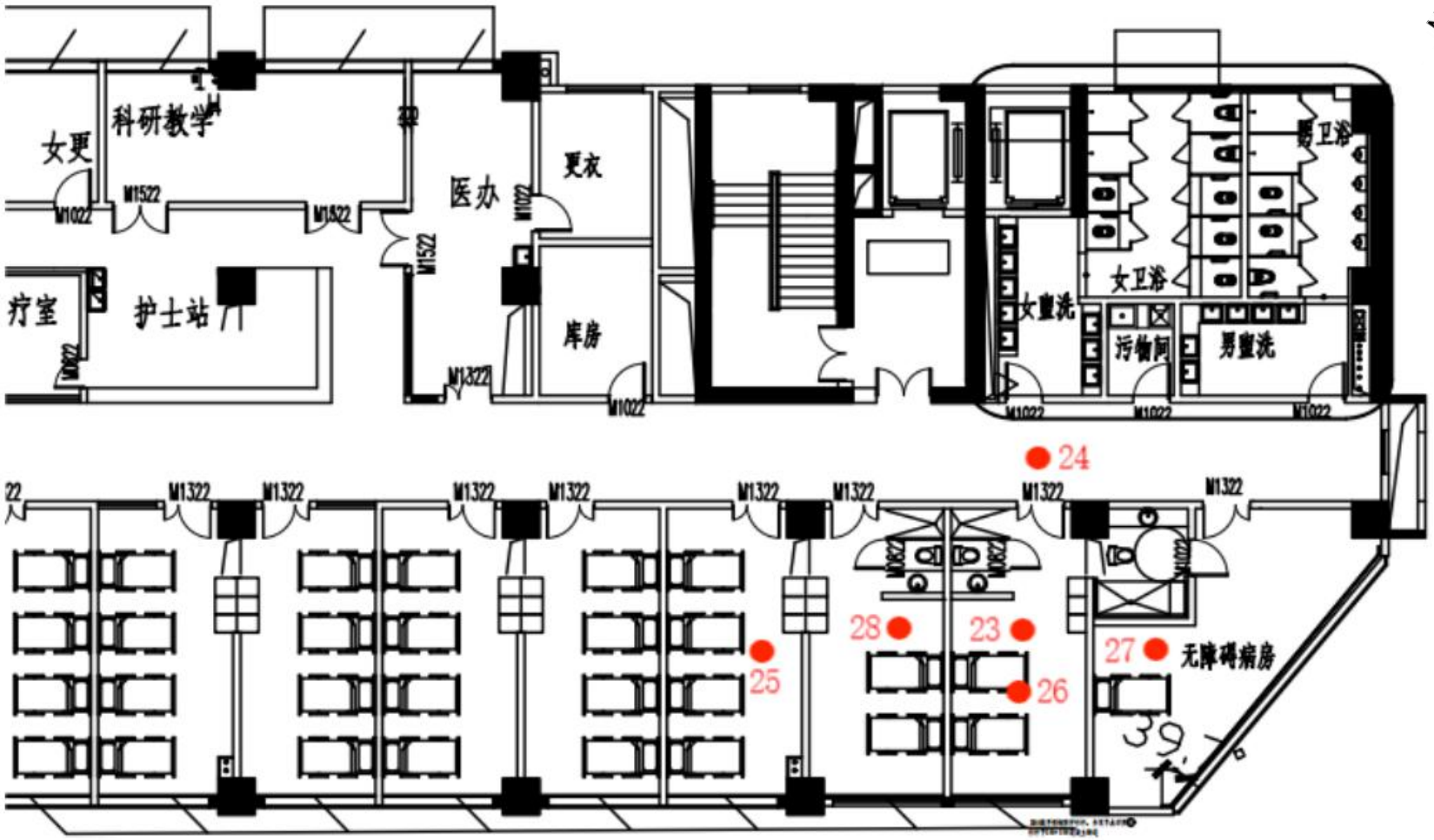


图 8-8 住院楼二楼病房环境γ辐射剂量率监测布点图

福建省泉州市γ辐射剂量率参考《中国环境天然放射性水平》（2015 年）。

表 8-3 泉州市γ辐射剂量率　　单位：（nGy/h）

监测项目		建筑物室内	原野	道路
γ辐射剂量率	均值	136.6±31.2	63.2±19.4	74.7±17.4
	范围	96.6-193.4	25.9-107.0	10.2-102.3

根据表 8-2 中的测量结果，并对比表 8-3 可知，项目所在场址的环境γ辐射剂量率处于泉州市天然本底辐射范围内，无异常。

2.β表面污染

项目所在场址β表面污染监测结果见表 8-4。

表 8-4 项目所在场址β表面污染监测结果一览表

监测点编号	监测位置	β表面污染监测结果（Bq/cm^2）
β1	核医学科 SPECT/CT 室地面	＜MDL
β2	核医学科 SPECT/CT 室墙面	＜MDL
β3	核医学科 SPECT/CT 室床面	＜MDL
β4	核医学科 SPECT/CT 室东南侧医生通道地面	0.21
β5	核医学科 SPECT/CT 室东南侧医生通道墙面	0.16
β6	核医学科 SPECT/CT 室东北侧控制廊地面	＜MDL
β7	核医学科 SPECT/CT 室东北侧控制廊墙面	＜MDL
β8	核医学科 SPECT/CT 室东北侧控制廊工作台面	＜MDL
β9	核医学科 SPECT/CT 室西南侧患者通道地面	0.19
β10	核医学科 SPECT/CT 室西南侧患者通道墙面	0.22
β11	核医学科 SPECT/CT 室西北侧 SPECT 室地面	0.28
β12	核医学科 SPECT/CT 室西北侧 SPECT 室墙面	0.27
β13	核医学科分装注射室地面	0.24
β14	核医学科分装注射室墙面	0.47
β15	核医学科分装注射室工作台面	0.32
β16	核医学科分装注射室东北侧卫生通过间地面	0.18
β17	核医学科分装注射室东北侧卫生通过间墙面	0.17
β18	核医学科分装注射室西南侧患者通道地面	0.17
β19	核医学科分装注射室西南侧患者通道墙面	0.16
β20	核医学科分装注射室西北侧运动负荷室地面	0.20
β21	DSA2 室地面	0.30
β22	DSA2 室墙面	0.16
β23	DSA2 室床面	0.13
β24	DSA2 室东南侧 DSA1 室地面	0.14
β25	DSA2 室东南侧 DSA1 室墙面	0.27
β26	DSA2 室东北侧设备间地面	0.28

表 8-4 项目所在场址β表面污染监测结果一览表（续表）

监测点编号	监测位置	β表面污染监测结果（Bq/cm²）
β27	DSA2 室东北侧设备间墙面	0.16
β28	DSA2 室东北侧导管间地面	0.15
β29	DSA2 室东北侧导管间墙面	0.33
β30	DSA2 室西南侧控制廊地面	0.30
β31	DSA2 室西南侧控制廊墙面	0.29
β32	DSA2 室西北侧 DSA3 室地面	0.20
β33	DSA2 室西北侧 DSA3 室墙面	0.33
β34	住院楼二楼 33 床病房地面	0.21
β35	住院楼二楼 33 床病房墙面	0.17
β36	住院楼二楼 33 床病房床面	0.18
β37	住院楼二楼 35 床病房地面	0.18
β38	住院楼二楼 35 床病房墙面	0.21
β39	住院楼二楼 35 床病房床面	0.18
β40	住院楼二楼 41 床病房地面	0.14
β41	住院楼二楼 41 床病房墙面	0.18
β42	住院楼二楼 41 床病房床面	0.23
β43	DSA2 室地面	0.17
β44	住院楼二楼病房东北侧走廊地面	0.16
β45	住院楼二楼病房东北侧走廊墙面	0.15
β46	住院楼二楼病房西北侧普通病房地面	0.16
β47	住院楼二楼病房西北侧普通病房墙面	0.19
备注	（1）上述检测结果已扣除本底值 0.35Bq/cm²； （2）MDL 为表面污染仪探测下限 0.12 Bq/cm²。	

根据表 8-4，核医学科、DSA2 室、专用病房及周围β表面污染监测结果最大值为 0.47Bq/cm²，未见异常，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的面污染控制水平 4Bq/cm²、控制区表面污染水平 40Bq/cm²。

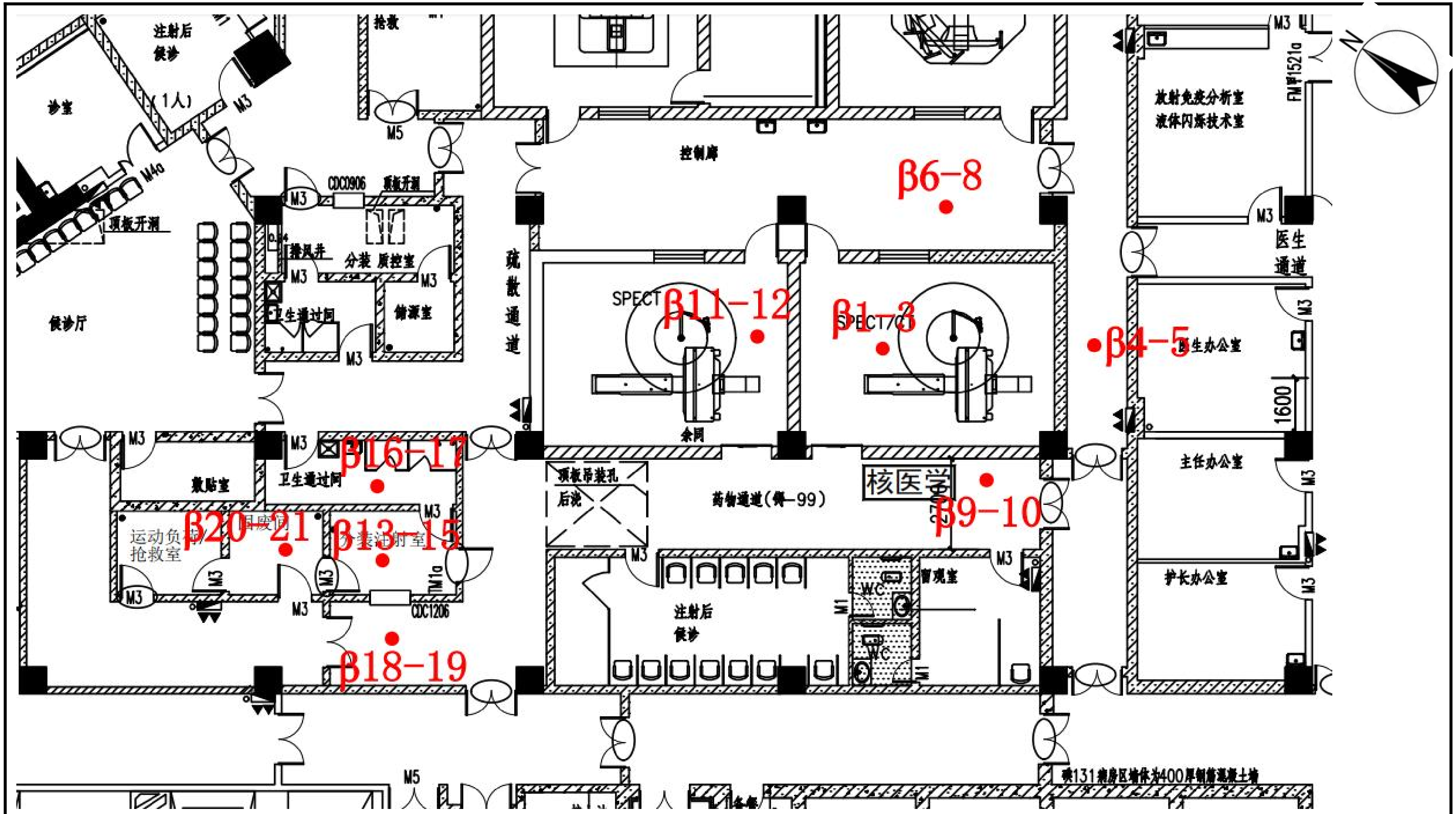


图 8-9 负一楼核医学科β表面污染监测布点图

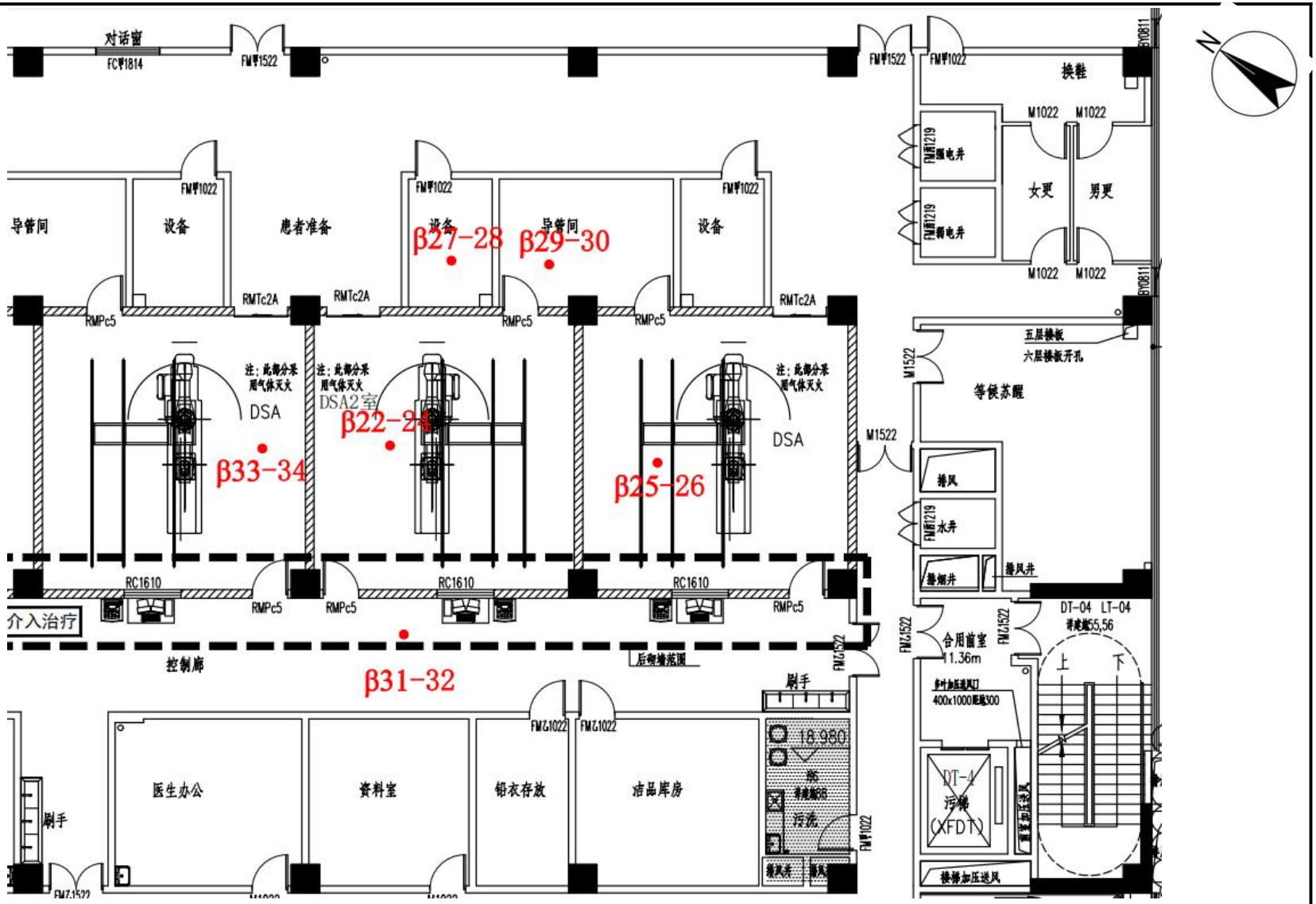


图 8-10 五楼 DSA2 室β表面污染监测布点图

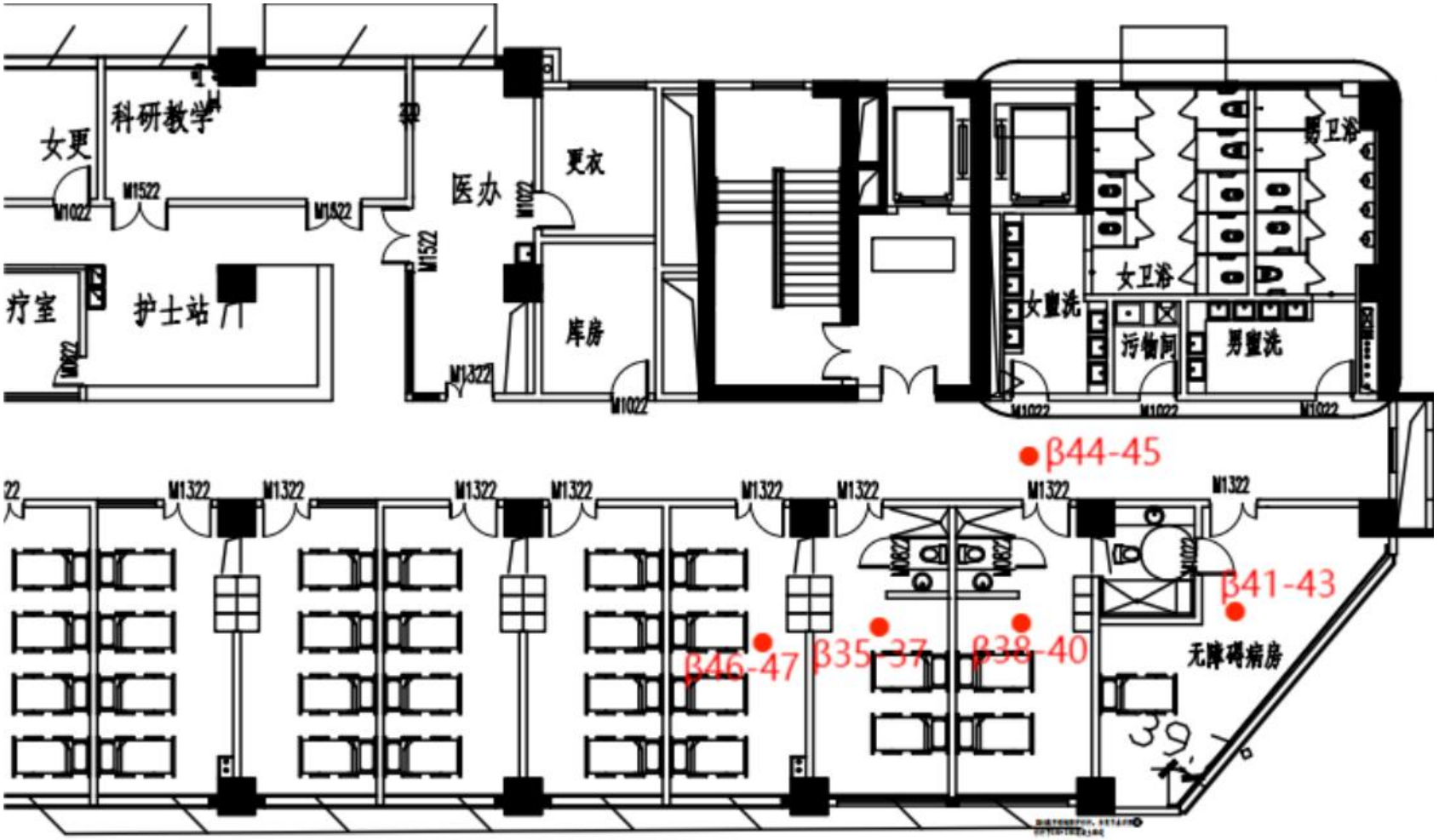


图 8-11 住院楼二楼病房β表面污染监测布点图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 运营期

9.1.1 工程设备和工艺分析

项目依托同心楼负一楼核医学科分装注射室分装 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y，依托核医学科的 1 间 SPECT/CT 机房开展 SPECT/CT 扫描；^{99m}Tc 和 ^{90}Y 注射均在同心楼五楼介入 DSA2 室开展。^{99m}Tc 和 ^{90}Y 不在同一天操作。由于核医学科使用 ^{99m}Tc 已具备完整的环保手续，已登记入辐射安全许可证，本次对 ^{99m}Tc 在核医学科的使用仅做简单介绍，^{90}Y 有关部分将详细介绍。

1. 依托的设备及组成

本项目依托的 1 台 SPECT/CT 设备信息详见表 9-1 和图 9-1。SPECT/CT 是指 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备，即单光子发射计算机断层扫描仪，不仅提供 SPECT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息，能够将功能代谢和解剖结构结合显示成像。SPECT/CT 是利用放射性核素（^{99m}Tc 等）作为示踪剂，根据检查项目将相应的示踪剂注入人体内，注射后候诊使该示踪剂浓聚在被测脏器上，从而使该脏器成为γ射线源，在体外用绕人体旋转的探测器记录脏器组织中放射性的分布，探测器旋转一个角度可得到一组数据，旋转一周可得到若干组数据，根据这些数据可以建立一系列断层平面图像。计算机则以横截面的方式重建成像。

表 9-1 依托的 1 台 SPECT/CT 设备信息一览表

设备名称	单光子发射及 X 射线计算机断层成像系统
设备型号	NM/CT 860
出厂编号	229549HL1
生产厂家	北京通用电气华伦医疗设备有限公司
主要参数	CT 部分：最大管电压：140kV；最大管电流：300mA
安装场所	城东院区同心楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房
射线装置分类	III类射线装置

图 9-1 依托的 1 台 SPECT/CT 设备铭牌

本项目依托的 1 台 DSA 设备信息详见表 9-2 和图 9-2。DSA 是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术等多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由 X 射线发生系统、C 型支架、接收器、图像显示器、导管床、操作台等系统组成。X 射线发生系统位于接收器正对方向；操作台集合控制系统和设备状态显示等功能，位于控制室内；手术室内控制装置一般为脚闸控制，通过设备电缆引出、位于地面。

表 9-2 依托的 1 台 DSA 设备信息一览表

设备名称	医用血管造影 X 射线系统
设备型号	Azurion 5 M20
出厂编号	140
生产厂家	飞利浦医疗（苏州）有限公司
主要参数	最大管电压：125kV；最大管电流：1000mA
安装场所	城东院区同心楼五楼介入 DSA2 室
射线装置分类	II类射线装置

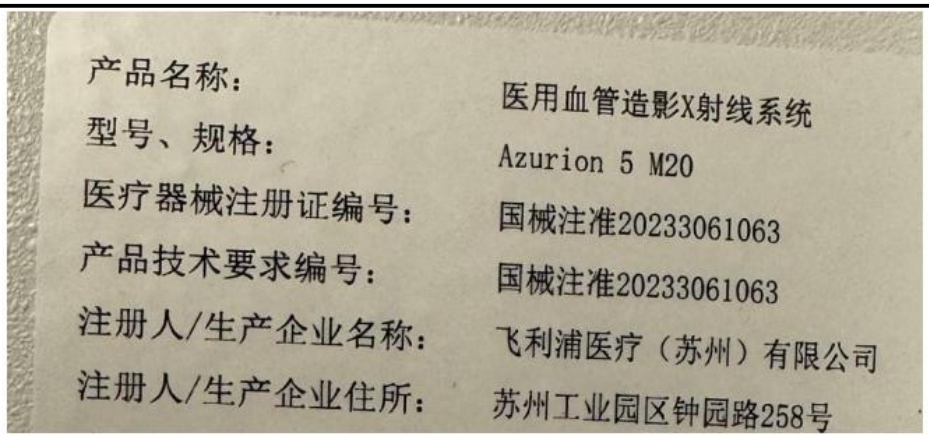


图 9-2 依托的 1 台 DSA 设备铭牌

2. 核素使用流程及使用剂量

医院向药物厂家预订放射性药物后，由药物厂家委托具备相应运输资质的单位将放射性药物安全送至医院同心楼负一楼核医学科。

（1）核素准备/订购、接收与使用

①根据医院提供的资料，向药物厂家预订放射性药物 ^{99m}Tc（液态）送至同心楼负一楼核医学科，根据预订量 1.85E+08Bq/针剂，而后在分装注射室分装柜内（又称通风柜）进行分装标记，分装标记后的 ^{99m}Tc（1.48E+08Bq/针剂）转移至同心楼五楼介入 DSA2 室，然后在 DSA2 室对患者实施介入注射。转移至 DSA2 室过程中 ^{99m}Tc 采用 6mmPb 注射器运送防护筒。注射 ^{99m}Tc 后的患者穿戴铅衣（0.5mmPb） 转移至核医学科进行 SPECT/CT 扫描。

②^{90}Y（悬浮液）药物贮存在西林瓶中，外有厂家提供的 6.4mmPb 铅罐。运输时防护铅罐置于塑料小桶内，塑料小桶放置于货包中，每个货包放置 1 个装有 ^{90}Y 放射性药物的塑料小桶。由供药单位送至医院同心楼负一楼核医学科储源室。^{90}Y 规格为 3.0E+09

Bq/瓶，容积为 5ml，由核医学科专人接收、签字、入库。工作人员根据患者患病状况确定用药剂量，然后在分装注射室通风柜内进行活度测定、抽取（分装）等相关操作，分装后的 ^{90}Y（最多为 2.5E+09 Bq/人）转移至同心楼五楼介入 DSA2 室，在 DSA2 室对患者实施注射。

^{90}Y 转移过程中依次有 V 瓶屏蔽罐（18mm 有机玻璃）和铅罐（6.4mmPb）防护。患者注射 ^{90}Y 后转移至同心楼负一楼核医学科进行 SPECT/CT 扫描，扫描后转入住院楼二楼专用病房。患者转移过程中穿戴 0.5mm Pb 铅衣。

（2）核素使用方案

①根据医院提供资料，患者每人最多注射 ^{99m}Tc 1.48E+08Bq（4mCi），单日最多接诊 6 人次，年接诊 400 人次（由于部分做了 ^{99m}Tc 手术的病人不适合进行 ^{90}Y 手术，故 ^{99m}Tc 手术病人根据经验按 2:1 进行，即 2 个做了 ^{99m}Tc 手术的病人有 1 个适合做 ^{90}Y 手术）。则单日最大操作量为 6×（1.48E+08Bq）=8.88E+08Bq（24mCi），年最大用量为 400×（1.48E+08Bq）=5.92E+10Bq。

本项目 ^{90}Y 规格为 3.0E+09Bq/瓶，每位患者最大用量注射 2.5GBq，每人使用 1 瓶，剩余药物作为放射性废物。单日最多接诊 3 人次，年接诊 200 人次。则同心楼负一楼核医学科 ^{90}Y 单日最大操作量为 9.00E+09Bq，同心楼五楼介入 DSA2 室 ^{90}Y 单日最大操作量为 7.50E+09Bq，全院 ^{90}Y 年最大用量为 200×（3.0E+09Bq）=2.40E+11Bq。

本项目核素使用方案见前文表 1-2。

3.治疗原理和工艺流程

（1）^{90}Y 树脂微球治疗原理

^{90}Y 半衰期为 64.2 小时，是通过化学方法从 ^{90}Sr 中提取，将其离子键结合在树脂微球上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ^{90}Y 放射性核素的颗粒注入肿瘤血管，使 ^{90}Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞，此微球具有不能通过毛细血管网，且不被巨噬细胞所吞噬，生物相容性好、无毒、核素衰变基本完成后，微球开始生物降解而不再栓塞血管的特点。^{90}Y 发出的β射线能量为 2.284MeV，在人体组织中的最大射程为 11mm，平均 2.5mm。

^{90}Y 树脂微球是一款靶向放射治疗产品，由含有钇的生物相容性树脂微球组成，直

径为 20-60μm。该产品被广泛应用于肝癌的选择性内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量β辐射起到杀死癌症细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织。被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌，包括结直肠癌肝脏转移癌症、原发性肝癌、胆管癌、神经内分泌细胞瘤、乳腺癌肝脏转移癌症等。

为了保证 ^{90}Y 树脂微球的治疗效果，在治疗前 1~2 周内对患者进行 ^{99m}Tc 放射性药物实验，在介入条件下注射 ^{99m}Tc-MAA（锝-99m 标记的亚锡聚合白蛋白），以模拟 ^{90}Y 树脂微球在体内的分布，确保患者病灶处能够将 ^{90}Y 微球有效栓塞，避免患者接受无效的辐射照射。每个患者使用 ^{99m}Tc-MAA 的活度最大为 1.48E+08Bq（4mCi），辐射工作人员使用数字减影血管造影（DSA）完成插管，确保导管末端处于患者病灶附近，将 ^{99m}Tc-MAA 注入患者病灶位置。随后，将患者转移至核医学科进行 SPECT/CT 检查，以评估患者肺部分流情况、正常组织和肿瘤组织接受剂量的比例。

（2）治疗流程

^{90}Y 树脂微球以介入式治疗形式进行，操作过程主要包括 ^{99m}Tc-MAA（锝-99m 标记的亚锡聚合白蛋白）肝动脉内注射、SPECT/CT 扫描、^{90}Y 树脂微球剂量准备、^{90}Y 树脂微球肝内介入注射、SPECT-CT 扫描进行剂量学评估等环节。具体分为两个阶段，第一个阶段为治疗前 1-2 周做肝内 ^{99m}Tc-MAA 扫描，第二阶段为 ^{90}Y 树脂微球手术注射。

同心楼五楼介入 DSA2 室新增 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 注射手术，手术前在 DSA2 室手术台以及附近地面铺设一次性防水铺巾，每例注射手术结束后，将铺设的一次性防水铺巾作为放射性废物处理，并对 DSA2 室及周围相邻区域进行表面污染检测，确认是否造成污染。正常操作情况下一般不会造成污染，如发现污染，可采取相应的去污措施，达到清洁解控水平后，方可转为普通介入手术使用，不会影响 DSA2 室开展其他介入手术。由于医院具有多台 DSA 设备，且本项目实施后 DS2 室一般只需要安排 2 天进行（一天进行 ^{99m}Tc 注射，一天进行 ^{90}Y 注射），不会干扰其他介入手术。

本项目治疗流程及产排污节点见图 9-3。

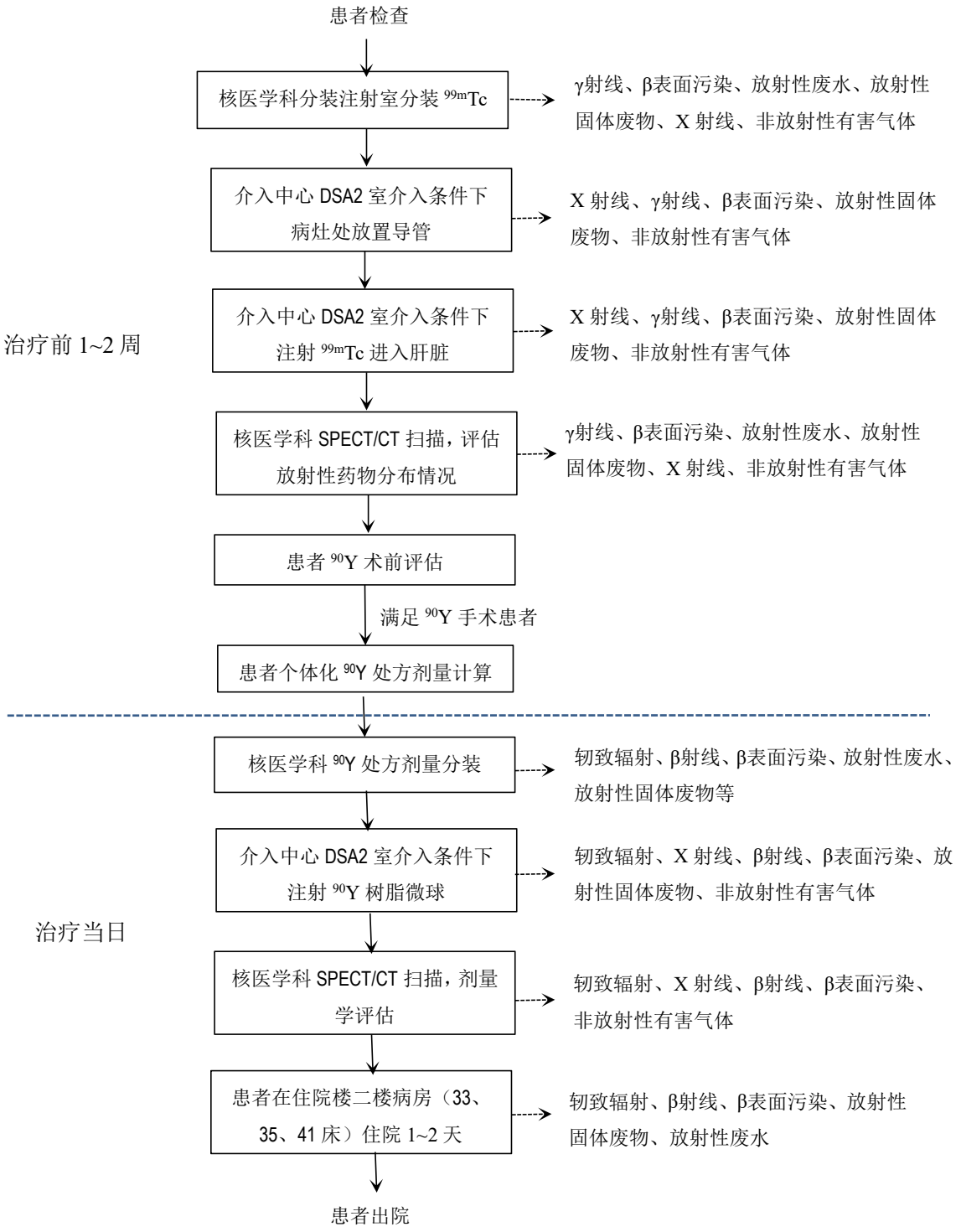


图 9-3　^{90}Y 治疗流程及产排污节点图

治疗流程说明：

第一阶段（^{90}Y 治疗前 1~2 周）：

在治疗前 1-2 周需使用 ^{99m}Tc 标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）注入肝动脉，评估患者

是否适合开展 ^{90}Y 治疗。该阶段 ^{99m}Tc 分装操作在同心楼负一楼核医学科分装注射室完成。注射过程在同心楼五楼介入 DSA2 室完成。其原理为：^{99m}Tc-MAA 为一种对人体无害的诊断蛋白，分子大小近似 ^{90}Y 树脂微球，可模拟 ^{90}Y 树脂微球在体内分布状况，确保 ^{90}Y 树脂微球会停留在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官放射性伤害。

^{99m}Tc-MAA 每人次用量最大为 4mCi，核医学科使用 ^{99m}Tc 已履行环保手续，已登记入医院辐射安全许可证，许可用量满足本项目和核医学科现有项目核素用量需求，无需额外增加 ^{99m}Tc 用量。因此，本项目第一阶段涉及在同心楼负一楼核医学科进行 ^{99m}Tc 分装，以及患者注射 ^{99m}Tc 后进行 SPECT/CT 扫描的过程，本次不再重复介绍其扫描原理和辐射影响评价，仅重点描述其工作流程。同时，依托的同心楼五楼介入 DSA2 室内 DSA 装置属于 II 类射线装置，已通过竣工环保验收并列入辐射安全许可证，其作为 II 类射线装置的有关环境影响也不再详细评价。

第一阶段具体步骤如下（治疗前 1~2 周）：

①根据预约情况，通知患者提前一天到医院进行检查。

②签署血管摄影同意书，禁食 6～8 小时，并将两侧腹股毛发剔除干净以预防感染。

③当日送检前注射静脉输注，排空尿液。

④注射 ^{99m}Tc 前，介入人员和患者穿戴好防护用品，设置 DSA 系统的相关技术参数。然后在同心楼五楼介入 DSA2 室内利用透视和减影功能完成导管放置，此过程，DSA2 室技师在控制室操作，减影时 DSA 导管室内无介入人员停留，透视时介入人员在 DSA2 室内进行相关操作。放置导管后，介入人员为受检者手动注射 ^{99m}Tc 至肝脏，此过程介入人员利用移动注射车、铅衣、铅防护吊屏、床侧铅防护帘、注射器防护套等进行防护。注射过程中 DSA 不曝光，注射过程一般不超过 5 分钟。注射结束后再进行透视，确认注射情况。

⑤将患者转移至同心楼负一楼核医学科，转移过程，护送人员和患者穿戴好防护用品，且距离患者 1m 处周围划为临时控制区，隔离无关人员，禁止靠近，并使用授权专用电梯，转运至核医学科接受 SPECT/CT 扫描，扫描完成后由患者通道离开。

⑥核医学科医生根据患者检查结果，评估患者体内放射性药物分布情况及是否适合进行 ^{90}Y 治疗。对于评估适合进行 ^{90}Y 治疗的患者，进一步根据患者具体情况进行个体

化 ^{90}Y 处方剂量计算。

第二阶段：^{90}Y 树脂微球输注

①通知符合 ^{90}Y 手术条件的患者住院准备进行第二阶段 ^{90}Y 树脂微球输注。为避免核素过多衰变减少浪费，^{90}Y 树脂微球通常在植入手术当天送达医院。

②患者入院后按血管摄影检查流程执行术前准备。

③治疗当天，在同心楼负一楼核医学科分装注射室进行 ^{90}Y 树脂微球药物活度测量和抽取（分装），并按要求将分装好的药物送至同心楼五楼介入 DSA2 室。

④将患者送到同心楼五楼介入 DSA2 室做血管造影，由介入科医师经由股动脉置入肝动脉导管，透过导管注入 ^{90}Y 树脂微球。依据血管摄影检查流程执行术后调理。

⑤^{90}Y 树脂微球输注完毕的 2 小时内，在同心楼负一楼核医学科使用 SPECT/CT 扫描 ^{90}Y 与机体组织相互作用产生的韧致辐射信号，再次确认肝脏中微球的留置区域，同时观察是否有意外的肝外分流，为不良反应时间的早期应对提供依据。

⑥治疗结束后病人送至住院楼二楼专用病房（33、35、41 床）进行医学留观，留观 1～2 天后出院。

本项目第一阶段和第二阶段需进行 SPECT/CT 扫描，SPECT/CT 扫描依托现有核医学科进行，该部分内容已履行环评和验收手续。

4.^{90}Y 树脂微球总活度测量和抽取

每剂 ^{90}Y 树脂微球在西林瓶中，1 瓶 ^{90}Y 树脂微球总活度约为 3.0E+09Bq，容积约为 5mL。一般每位患者仅需注射 1.5~2.5GBq 即可满足治疗需求，每位患者对应 1 瓶 ^{90}Y 树脂微球，剩余 ^{90}Y 树脂微球作为放射性固体废物进行处理。

（1）打开 ^{90}Y 树脂微球的包装，将玻璃运输瓶放入铅罐中，盖紧盖子，双手紧握铅罐，倒转剧烈摇晃 30 秒以上，重新悬浮 ^{90}Y 树脂微球。

（2）快速打开铅罐盖，用镊子取出玻璃运输瓶，在活度计测井内测定运输瓶内 ^{90}Y 的实际活度。比较实际活度与标定活度，当实际活度处于标定活度值的±10%以内时，认为实际活度与标定活度相符。将运输瓶放回铅罐，盖回铅罐盖子。通过实际活度，计算需要抽取的 ^{90}Y 树脂微球的体积、取样后运输瓶内剩余活度范围。

（3）将 5mL 注射器放在注射器屏蔽器内（15mm 有机玻璃），并旋紧盖子。

（4）通过倒转铅罐数次重新悬浮 ^{90}Y 树脂微球，快速打开铅罐盖，用镊子移除玻璃运输瓶的铝盖，使用酒精棉球擦拭橡胶隔垫。将带有过滤器或无菌棉的 25G 短针头刺入运输瓶的隔垫以形成通气孔，确保针头不触及运输瓶内容物。

（5）从带有屏蔽器的注射器针头上取下针头套，轻轻地将针头垂直地插入运输瓶中，避免用力过猛而扭曲针头。使用注射器抽吸吹打微球 6 次以上，以重新悬浮 ^{90}Y 树脂微球。快速抽取出事先计算出的 ^{90}Y 树脂微球混悬液的体积。待注射器内液面平稳后，小心地从运输瓶的液体中拉出针头。

（6）使用镊子夹住运输瓶，轻轻摇晃，使剩余的 ^{90}Y 树脂微球重新混匀，然后置于电离室中测定运输瓶中剩余的活度。若瓶内剩余的活度处于前述步骤中计算的剩余活度范围内，则认为取样量准确；反之，则认为取样量不准确。若发现取样量不准确，则需将注射器中的微球混悬液重新注入玻璃运输瓶中，重新混悬均匀，并依照前述步骤进行重新取样操作，直至取样量准确。

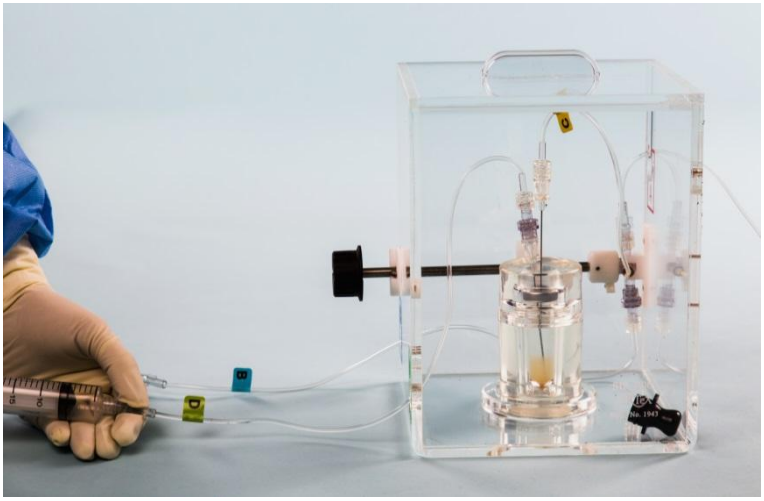
（7）一旦确认了正确的取样活度，则从运输瓶上取下排气针，并盖回铅罐上的盖子。同时将 ^{90}Y 树脂微球从注射器转移到聚丙烯酸树脂 V 型架瓶支架中的 V 型瓶中。（如果取样量小于 3mL，则应在 ^{90}Y 树脂微球从注射器转移到 V 型瓶中之前，抽取适量的无菌注射用水或 5%葡萄糖注射液从排气针注射至 V 型瓶中，以确保 V 型瓶中最终的总体积在 3mL 左右）。

（8）从 V 型瓶上取下排气针，盖好 V 型瓶支架上的黑色塞子，在 V 型瓶支架上贴上包含患者信息、处方剂量、输注时间、治疗部位、分装操作信息等必要信息的标签，并将 V 型瓶连同 V 型瓶支架放入筒状转运盒中。

（9）分装完毕，按照相关安全防护规定，检测操作者、操作台面及相关区域可能存在的辐射污染，并对可能存在的污染进行处理。将剩余的树脂微球及分装操作中产生的固体废物统一收集处置。

5.^{90}Y 树脂微球的介入注射

（1）将测量完活度的含 ^{90}Y 树脂微球的 V 瓶放置于注射防护盒内， 连接输液管、三通旋阀、无菌水或 5%葡萄糖苷和造影剂等辅助材料。



（2）装配完成后，先手动压注射防护盒外 B 口注射器注入造影剂复查导管位置；其次使用 B 口另一个注射器注入无菌水或 5%葡萄糖苷冲洗导管，避免导管中与 90Y 树脂微球混合；

（3）通过 D 口脉冲注入无菌水使 V 瓶的微球回旋形成悬浮液，通过 V 瓶 C 口将 90Y 树脂微球经连接病人体内的导管 A 口压入患者体内，直达病灶。

（4）将微球分小剂量多次注入，过程大概持续 20 分钟。最后，通过 B 口无菌水或 5%葡萄糖苷注入导管，避免微球滞留在导管内。完成后，将导管从病人体内取出，将注射器、导管等放置于放射性废物桶内。

6.防护配件

^{90}Y 树脂微球手术专用的防护配件是为满足放射安全的基本原则以及协助手术中处理 ^{90}Y 树脂微球产品而设计的，使用有机玻璃（丙烯酸树脂类）和铅材料。

传输系统防护
（有机玻璃，6mm）

储备瓶（运输瓶）铅罐
（6.4mm 铅当量）

V 型瓶防护（丙烯酸树脂 V 型瓶支架）
（有机玻璃，18mm）

注射器防护
（有机玻璃，15mm）

9.1.2 核医学科核素的管理

医院根据临床诊断确定所需 ^{90}Y 药物的使用量，向放射性核素供应单位订购，供应单位在约定的时间内负责将放射性药物运送至核医学科，医院安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在核医学科分装注射室的分装柜中。医院将自行对购买的 ^{90}Y 树脂微球进行抽取。建设单位严禁无关人员进入核医学科所在区域，严禁辐射操作人员违规操作放射性核素。

由于放射性核素 ^{90}Y 半衰期较短，只有 64.2h，因此医院应根据临床诊断所需的使用量，向有相关资质的放射性核素供应单位订购，并在放射性核素送达当天使用，基本不会存在 ^{90}Y 存放过夜。未使用完的放射性核素存放于专用容器中，放置在放射性固体废物间存放 10 个半衰期后当作普通医疗废物处理。

医院制定放射性核素的管理制度，做好核素的领取、使用登记工作，并且在核医学各出入口设置监控系统和门禁系统，确保放射性药物的安全。

9.2 污染源项描述

9.2.1 运行期间正常工况下污染源分析

本项目影响主要污染因子为 X 射线、γ射线、β射线、β表面污染、韧致辐射、放射性固体废物、放射性废水、放射性废气。

1.^{99m}Tc 前期检查过程相关污染分析

本项目利用 ^{99m}Tc 进行前期检查过程主要产生如下污染因素：

（1）X 射线和非放射性有害气体：项目依托的 DSA 和 SPECT/CT 属于 X 射线装置，

开机曝光时产生 X 射线，X 射线使空气电离产生臭氧和氮氧化物等非放射性有害气体；

（2）γ射线：^{99m}Tc 衰变产生；

（3）β表面污染：可能的核素泄漏造成表面污染；

（4）放射性固体废物：本项目 ^{99m}Tc 操作过程中产生的固体废物主要为同心楼负一楼核医学科核素分装过程中产生的一次性手套、口罩等；同心楼五楼介入 DSA2 室注射 ^{99m}Tc 产生的一次性手套、输液管、患者体内管、吸水纸、工作台面铺料（铺料为双层，一层吸水纸，一层防水材料）、抹布、去污用品等；

（5）放射性废水：本项目 ^{99m}Tc 模拟治疗一年最多接诊 400 人次，患者注射 ^{99m}Tc 最大仅为 4mCi，小于核医学科常见 ^{99m}Tc 诊断患者的用药量，且本项目为介入注射，采用较大分子 ^{99m}Tc-MAA 聚合白蛋白，核素主要在肝脏部位停留，患者排泄物中 ^{99m}Tc 含量较少，且用药后即可离院，不住院。在注射手术过程中，患者处于麻醉状态，不排泄。因此，^{99m}Tc 在介入注射过程正常情况下不会产生放射性废水。如发生洒漏，则使用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，不用水进行清洗，使之成为放射性固体废物。因此，同心楼五楼介入 DSA2 室在开展 ^{99m}Tc 在介入注射过程中无放射性废水产生，同心楼负一楼核医学科产生的放射性废水主要来自工作人员操作过程中产生少量含放射性核素的废水、病人排泄物、清洁用水等。

（6）放射性废气：^{99m}Tc-MAA 为液体，不属于挥发性核素。注射时，药物均在密闭容器中，不会挥发，无放射性废气产生，分装时在分装注射室通风柜内（铅当量 10mmPb）进行操作，放射性废气产生极少。

2.^{90}Y 治疗过程相关污染分析

（1）X 射线和非放射性有害气体：本项目依托的 DSA 和 SPECT/CT 属于 X 射线装置，介入条件下注射 ^{90}Y 以及使用 SPECT-/CT 扫描患者时，DSA 和 SPECT/CT 开机曝光，产生 X 射线。X 射线使空气电离产生臭氧、氮氧化物等非放射性有害气体。

（2）β射线：根据 ^{90}Y 核素特性，衰变过程发射β射线，最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.9348MeV，在组织中最大穿透距离为 11mm，平均 2.5mm，根据上文分析，人体组织或 1cm 有机玻璃可以完全隔离β射线。

（3）韧致辐射：^{90}Y 发射的β粒子被屏蔽容器阻隔产生韧致辐射。

（4）放射性固体废物：操作 ^{90}Y 过程中，抽取 ^{90}Y 过程产生的一次性手套、注射器、

含残余剩余药物的西林瓶等；注射 ^{90}Y 产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶、V 瓶防护罐、工作台面和地面铺料（吸水纸和防水材料）等；如果发生 ^{90}Y 撒漏，还可能产生吸水纸、去污用纸、抹布、医护人员手套、口罩、手术服、有机玻璃盒子等。^{90}Y 治疗后患者住院留观期间，体内药物中残留的药物放射性主要随尿液排出，不产生其他放射性固体废物。

（5）放射性废液：^{90}Y 操作过程中不产生放射性废水，如事故情况下发生撒漏，则使用吸水纸、一次性抹布、应急去污用品等由远处向中心进行多次擦拭，不用水进行清洗，无放射性废水产生。本项目放射性液体废物主要为 ^{90}Y 患者排泄物。

（6）放射性废气：^{90}Y 树脂微球为悬浮液，悬浮溶液为无菌水，无挥发性，且在治疗全过程中，^{90}Y 树脂微球不暴露在空气，且游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇形式存在，氯化钇不具备挥发性，因此，本项目正常情况下无放射性气体产生。仅核医学科、介入中心 DSA2 室在事故工况下产生微量放射性废气。

（7）β表面污染：根据核素特性，核医学涉及核素均为β衰变。工作人员在操作非密封放射性物质时，尤其是分装时，可能因撒漏，引起工作台、地面等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

9.2.2 非正常运行状态下污染途径分析

（1）由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。

（2）核素转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

（3）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

（4）DSA 和 SPECT/CT 控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。

（5）人员在工作状态误入射线装置工作场所，由 X 射线直接或散射照射对人体造成潜在的照射伤害。工作人员或病人家属还未全部撤离辐照室，外面人员启动设备，造成有关人员被误照。

（6）检修时，误开机时，维修人员受到潜在的照射伤害。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 场所布局

本项目位于同心楼负一楼核医学科（存储、抽取）、同心楼五楼介入 DSA2 室（注射）、住院楼二楼专用病房（33、35、41 床）（留观）。

1.同心楼负一楼核医学科

同心楼位于医院整体布局中部，项目依托的核医学科位于医院同心楼负一楼，核医学科及其楼上楼下平面布局详见图 1-4～图 1-7。核医学科东南侧和东北侧为放疗中心，西南侧为停车场，西北侧为消防水池等功能用房，楼上为影像科，楼下为战时用房区。核医学科主要设置有核医学科候诊厅、诊室、甲功仪室、敷贴室、分装注射室、运动负荷/抢救室、固废间、注射后候诊室、留观室、SPECT 室、SPECT/CT 室、PET/CT 室、PET/MR 室以及核素治疗区等功能用房。其中，本项目主要依托的分装注射室位于核医学科中部，其东南侧为患者通道，东北侧为卫生通过间，西南侧为患者通道，西北侧为固废间；项目依托的 SPECT/CT 室位于核医学科中部，其东南侧为医生通道，东北侧为控制廊，西南侧为患者通道，西北侧为 SPECT 室。

2.同心楼五楼介入 DSA2 室

DSA2 室位于医院同心楼五楼，其东南侧为预留 DSA1 室，东北侧为患者准备区、设备间和导管间，西南侧为控制廊，西北侧为预留 DSA3 室，楼上为平台，楼下为库房，五楼介入中心和 DSA2 室平面布局详见图 1-8～图 1-10。本项目患者注射手术过程中，患者为麻醉状态，不排泄，无需设置专用卫生间。

3.住院楼二楼专用病房

住院楼位于医院整体布局中部，项目依托的 ^{90}Y 患者留观专用病房位于住院楼二楼病房（33、35、41 床），病房东南侧为室外悬空无建筑物，东北侧为病房走廊，西南侧为二楼连廊，西北侧为普通病房，楼上为办公室、卫生间、过道、医生值班室和休息室，楼下为大厅和药房，住院楼二楼和 ^{90}Y 病房平面布局详见图 1-11 和 1-12，该病房拟设置有铅屏蔽系统，能满足患者留观住院要求。

本项目药物运输路线主要位于负一楼，有效避开了医院门诊大厅等人流量较大区

域，在药物及患者转运过程中对转运路线两侧 1m 范围内进行临时管控，安排安保人员提前将药物及患者转运路线周围公众人员进行疏散，分别在转运路线两侧 1m 范围内设置警戒线，在药物及患者转运结束 5min 后再拆除警戒线。通过上述措施对药物及患者转运过程中进行管控，可有效避免对周围公众的影响。转运过程中对周围公众的影响较小。

10.1.2 人流、物流规划

本项目 ^{90}Y 患者治疗过程中将涉及 2 个工作场所及 1 处留观病房，分别为同心楼负一楼核医学科、同心楼五楼介入 DSA2 室，住院楼二楼病房。

为减少放射性药物、患者与公众成员的交叉污染，医院将根据实际情况，每周统一集中安排 1 天时间最多对 3 名 ^{90}Y 治疗患者进行治疗和 SPECT/CT 扫描，治疗前合理规划时间段，合理避开核医学科大厅等人员相对密集场所。项目人流物流路径见图 10-1 至图 10-5。

1.放射性药物流向

为了尽量减少 ^{99m}Tc、^{90}Y 药物及患者转运过程中与其他人员交叉，本项目药物运输时间安排在医院人流量少的时间段进行，^{90}Y 药物采购后于治疗当天上班前经负一楼停车场通过西南侧核医学科患者出口通道和 ^{99m}Tc 患者检查通道运往分装注射室进行分装，分装后的 ^{90}Y 药物从核医学科患者检查通道沿患者出口通道直接到达西南侧 DT-4 专用电梯（药物运输时临时管控）直达同心楼五楼介入中心，然后沿东北方向通道转西北方向通道经 DSA2 室东北侧机房大门进入 DSA2 室待用，^{99m}Tc 药物依托核医学科分装注射室在分装柜内进行分装标记后与 ^{90}Y 由同一路线运往同心楼五楼介入中心 DSA2 室备用。药物进入 DSA2 室后，在本次 ^{90}Y 患者注射结束前为专用机房，期间不会接收其他患者；并在治疗前提前在 DSA2 室内地面铺设两层铺材，上面一层为吸水纸，下面一层为防水材料，避免因操作失误导致药品渗入地面。

为了避免药物通道与患者通道、工作人员通道交叉的情况，对药物运输和人员通行交叉通道制定时空管理制度。考虑到手术量较少，且可以通过预约控制药物送达时间，并在手术前制定好每个环节的预定时间，特别是药物运输时间并安排专人提前对走廊、电梯等运输通道进行控制以减少其他人员与药物接触的概率。本项目将药物运输时间安

排在医院人流量最少的时间段，提前安排专人对走廊、电梯等运输通道的人员进行疏散，保证运输路径畅通；在走廊两侧 1m 范围内设置警戒线，并在电梯出入口放置警示标志，药物运输时间内医院会控制 DT-4 电梯停靠楼层，避免其余医患人员误入，药物运输结束 5min 后对走廊、电梯等运输通道进行解控。

2.患者就诊通道与流程

^{90}Y 患者在 DSA2 室接受治疗后，从 DSA2 室东北侧防护门沿东南方向转西南方向通道到达 DT-4 专用医梯（患者转运时临时管控）直达同心楼负一楼，沿西南方向通道经停车场到达核医学科大厅，然后由核医学科核素影像诊断区入口进入，经患者通道 SPECT/CT 机房内接受扫描检查。经 SPECT/CT 扫描检查后的 ^{90}Y 患者再从患者出口 DT-4 专用医梯（患者转运时临时管控）到达同心楼二楼，沿同心楼与病房楼间的连廊到达后进入住院楼二楼专用病房（33、35、41 床），留观 1～2 天后离院。

本项目所依托的 DT-4 电梯为刷卡控制电梯，在药物及患者转运期间将设置为专用电梯，医院通过控制电梯停靠楼层、安排人员在电梯进出口放置警示标志来避免其他医务人员和公众人员进入导致混用，在药物及患者转运结束 5min 后方可对电梯解控。若转运期间出现患者呕吐等特殊情况，需对电梯地面、墙面、门进行β表面污染检测合格后方可作为非放射性电梯使用。患者经过的电梯、走廊需提前安排专人对公众人员进行疏散，疏散后分别在走廊两侧 1m 范围内设置警戒线，避免公众人员靠近，在患者转运结束 5min 后方可拆除警戒线。

3.医护人员通道与流程

（1）同心楼负一楼核医学科辐射工作人员

到达负一楼后由核医学科西北侧进入大厅，然后通过卫生通过间更衣并穿戴防护服后进入分装注射室、SPECT/CT 机房、固废间等场所开展工作，工作结束后经表面污染监测并去污更衣后按原路离开核医学科。

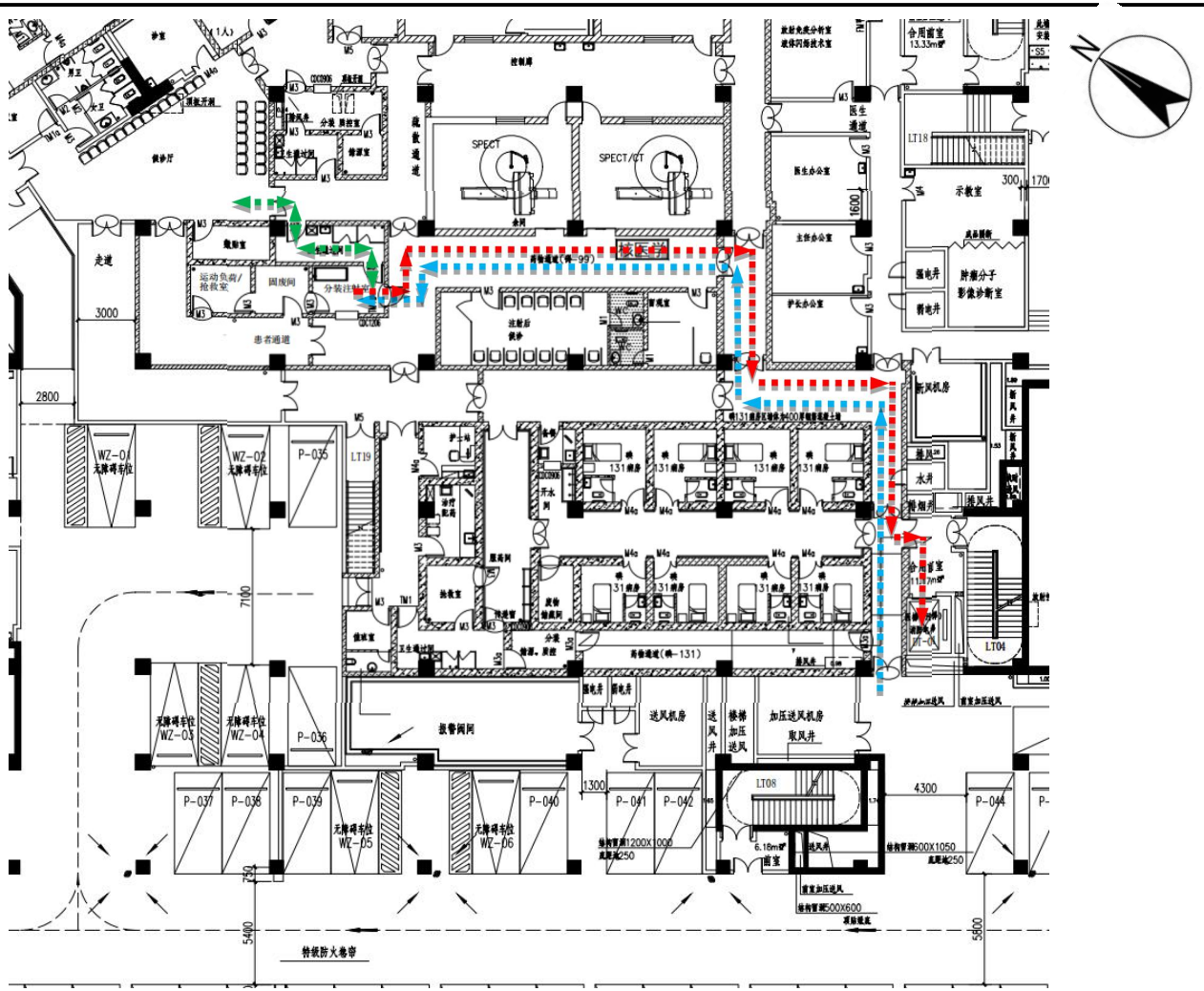
（2）同心楼五楼介入中心辐射工作人员

辐射工作人员由同心楼北侧 DT16~18 号医梯到达同心楼五楼，在更衣室更衣后经医护走廊到达西南侧控制廊从西南侧防护门进入 DSA2 室进行手术，工作结束后经表面污染监测并去污更衣后按原路离开介入中心。

4.放射性废物路径

核医学科产生的放射性固体废物，如手套、酒精棉球、放射性残液容器等，分装室内设置专用铅防护污物桶，收集后定期送至固废室衰变桶内暂存。

而本项目涉及的同心楼五楼介入 DSA2 室内拟增加铅防护废物桶，用于收集介入注射过程中产生的放射性固体废物，如一次性手套、医用棉球、输液管、V 瓶等。收集后的废物由放射性药物从 DSA2 室东北侧防护门沿东南方向转西南方向通道经 DT-4 污梯到达负一楼核医学科固废室衰变桶内暂存。



接收 ^{99m}Tc、^{90}Y 药物和人员路线　分装、抽取药物工作人员路线　分装后药物和护送药物工作人员路线

图 10-1　负一楼核医学科工作场所人流、物流示意图

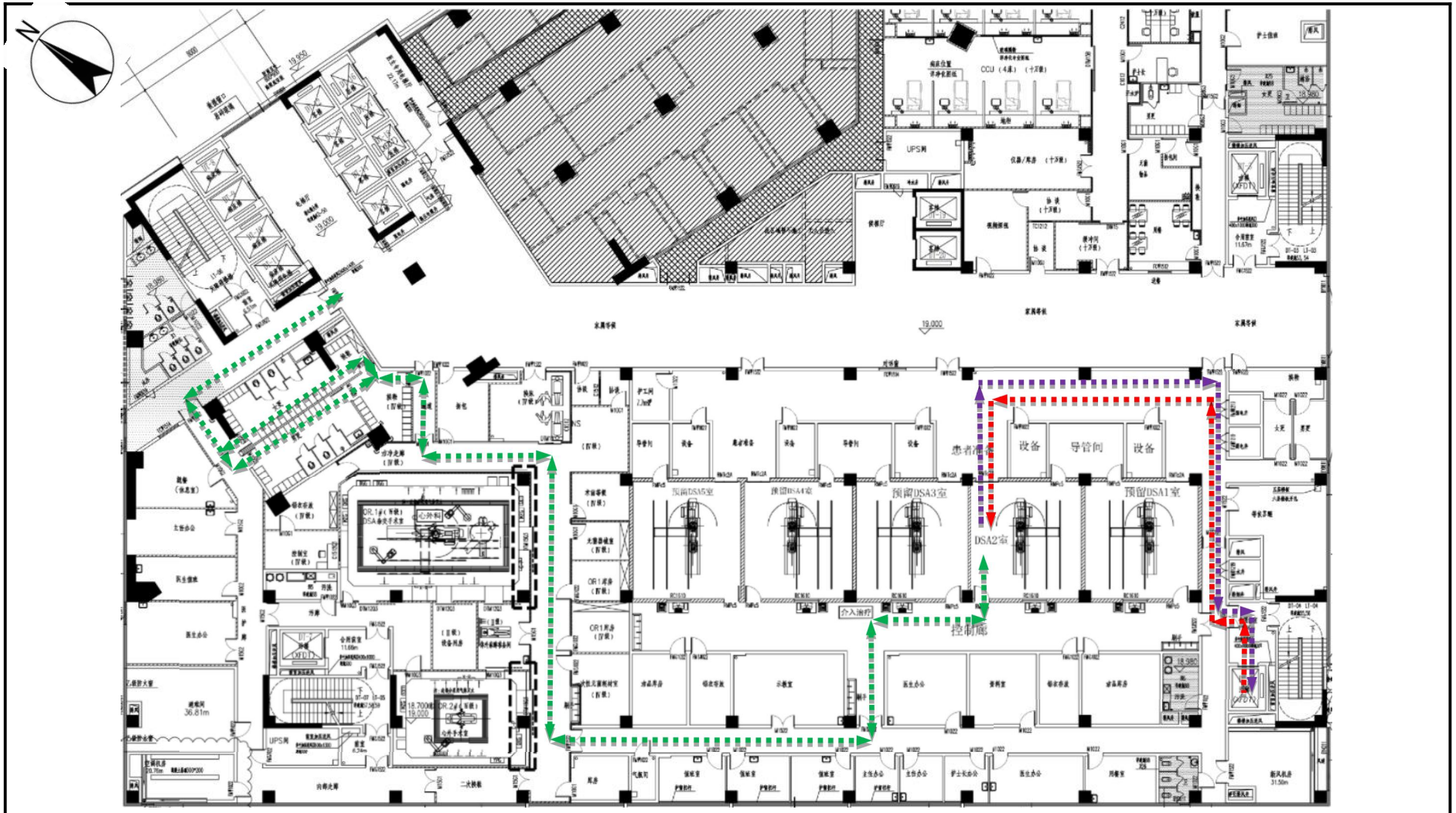


图 10-2　五楼介入中心工作场所人流、物流示意图

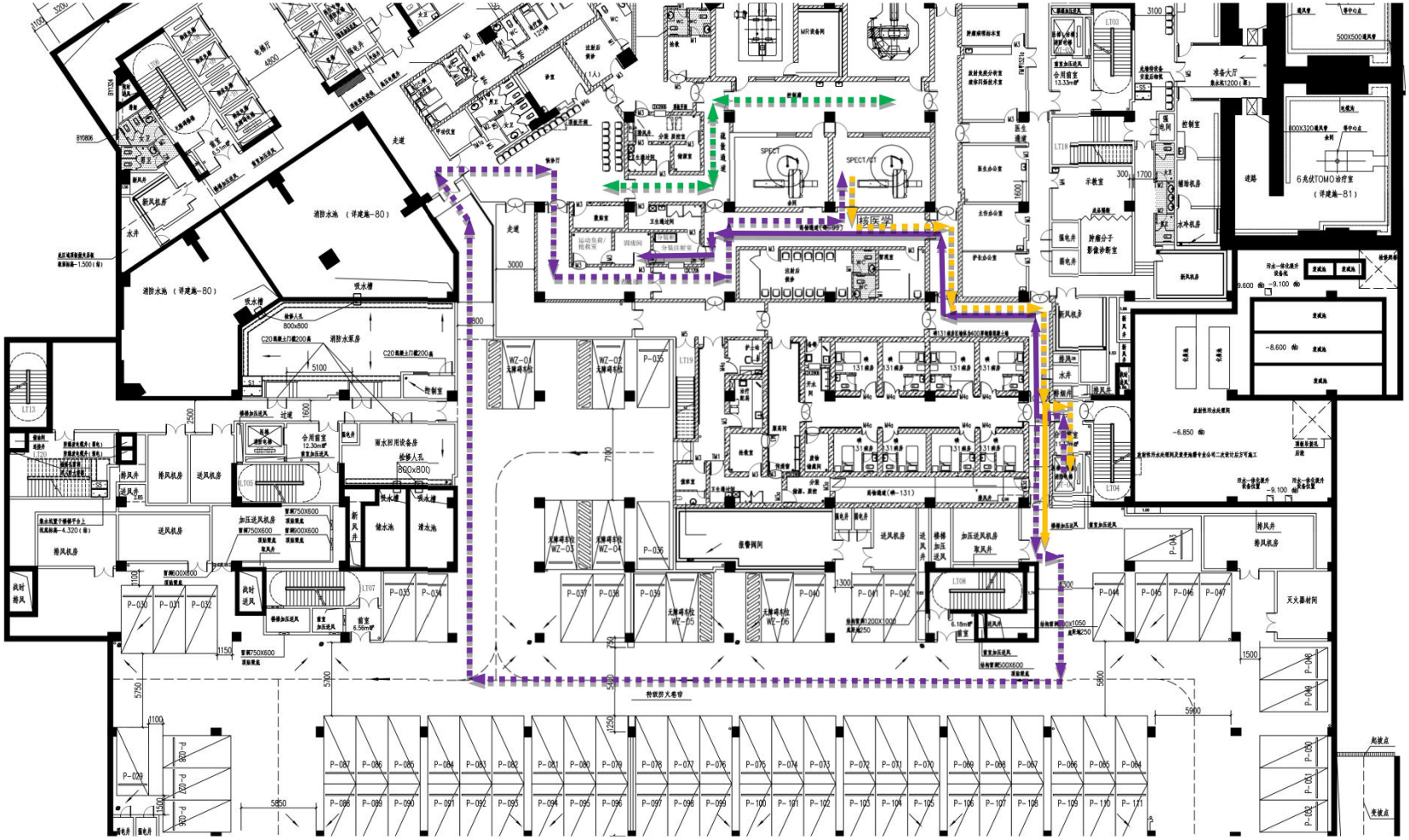


图 10-3　负一楼核医学科工作场所人流、物流示意图

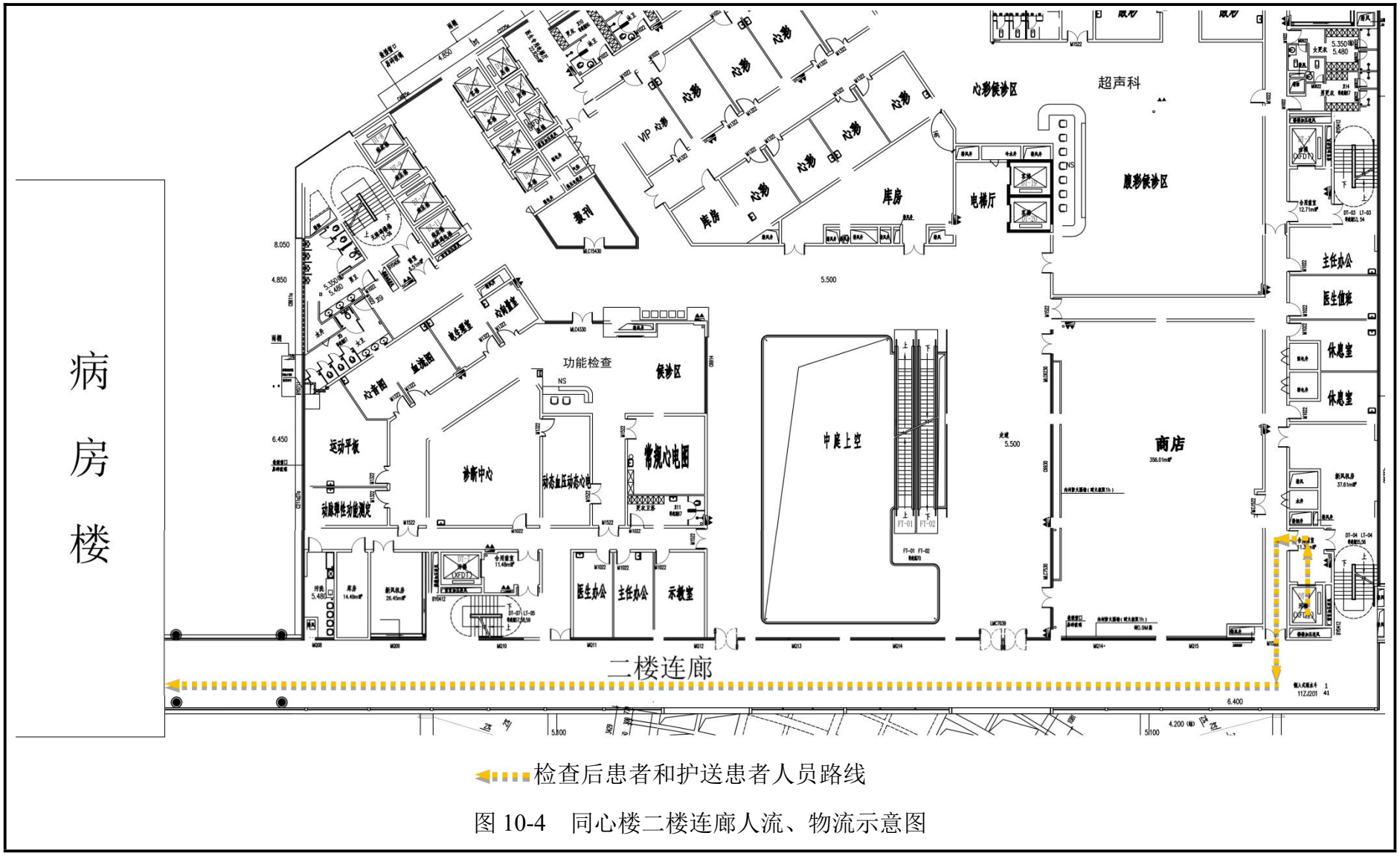


图 10-4　同心楼二楼连廊人流、物流示意图

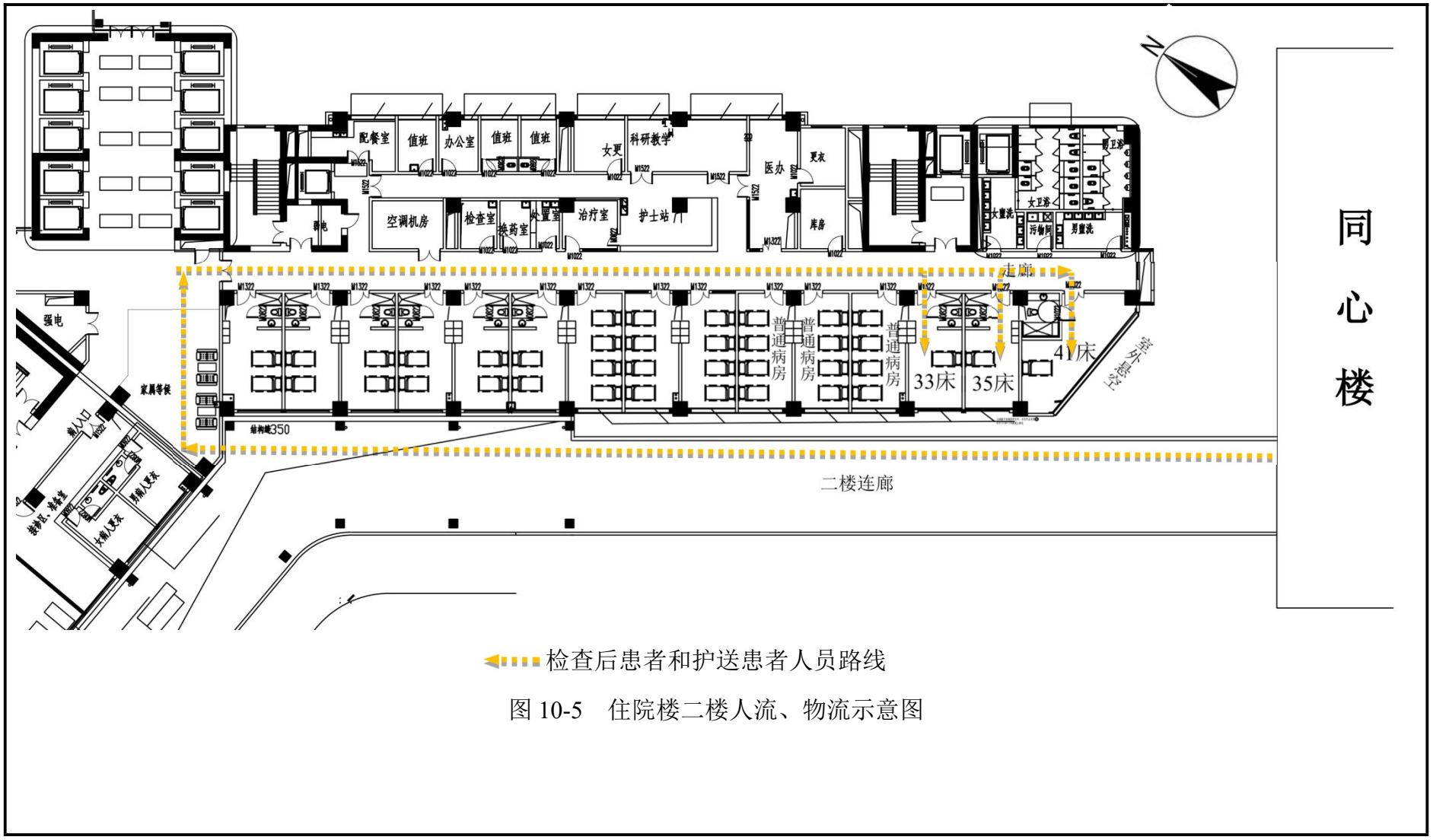


图 10-5　住院楼二楼人流、物流示意图

10.1.3 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封放射性物质工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：

日等效操作量=实际日操作量×核素毒性因子/操作方式修正因子

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 C1 的非密封放射性物质工作场分级标准详见表 10-1。

表 10-1 非密封放射性物质工作场分级标准

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}~4×10^{9}
丙	豁免话度值以上～2×10^{7}

本项目依托的核医学科核素诊疗工作场所属于已许可的乙级非密封放射性物质工作场所，本项目核医学科 ^{99m}Tc 日等效最大操作量约为 1.11E+06Bq，^{90}Y 日等效最大操作量约为 9.00E+07Bq，本项目实施后新增使用 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 核素日等效最大操作量为 9.00E+07Bq，整体核医学科使用核素总的日等效最大操作量为 3.68E+09Bq。根据 GB18871-2002 的分级要求（见表 10-1），项目实施后核医学科仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

而本项目依托的同心楼五楼介入 DSA2 室放射性同位素日等效最大操作量分别为 ^{99m}Tc：8.88E+05Bq，^{90}Y：7.50E+07Bq。

由于 ^{90}Y 肝癌治疗的第一阶段（^{99m}Tc 前期模拟验证）和第二阶段（^{90}Y 正式治疗）两项目不在同一天内开展，则同心楼五楼介入 DSA2 室的放射性同位素日最大操作量为 7.50E+07Bq，根据 GB18871-2002 的分级要求，核定同心楼五楼介入 DSA2 室为新增乙级非密封放射性物质工作场所。

综上，本项目实施后，同心楼负一楼核医学科场所等级仍为乙级场所，同时新增同心楼五楼介入 DSA2 室为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目实施后相关工作场所的放射性同位素日等效最大操作量及场所等级划分情况见表 10-2。

表 10-2 项目实施后相关场所的日等效最大操作量及场所等级划分情况表

核素名称		物理状态	日等效最大操作量（Bq）			最大年操作量（Bq）	场所等级	操作场所	活动种类
原有	^{99m}Tc	液态	3.70E+07	3.59E+09	3.68E+09	9.25E+12	乙级	同心楼负一楼核医学科	使用
	^{131}I	液态	3.55E+09			6.29E+12			使用
	^{125}I（粒子源）	固态	2.96E+06			8.88E+11			使用
新增	^{99m}Tc	液态	1.11E+06	9.00E+07		7.40E+10			使用
	^{90}Y	悬浮液	9.00E+07			6.00E+11			使用
新增	^{99m}Tc	液态	8.88E+05	7.50E+07		5.92E+10	乙级	同心楼五楼介入DSA2 室	使用
	^{90}Y	悬浮液	7.50E+07			5.00E+11			使用
注：由于 ^{90}Y 肝癌治疗的第一阶段（^{99m}Tc 前期模拟验证）和第二阶段（^{90}Y 正式治疗）两个项目不在同一天内开展，因此选取核素日等效最大操作量较大值。									

10.1.4 辐射工作场所分区

根据国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，将辐射工作场所分为控制区和监督区，便于辐射防护管理和职业照射控制。该场所的分区如下：

（1）控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。

（2）监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的指定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作的状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

本项目负一楼核医学科和五楼介入 DSA2 室依托现有场所，项目实施后不改变辐射工作场所分区，工作场所分区见图 10-6 至图 10-7。住院楼二楼病房为新增辐射工作场所，其分区见图 10-8。

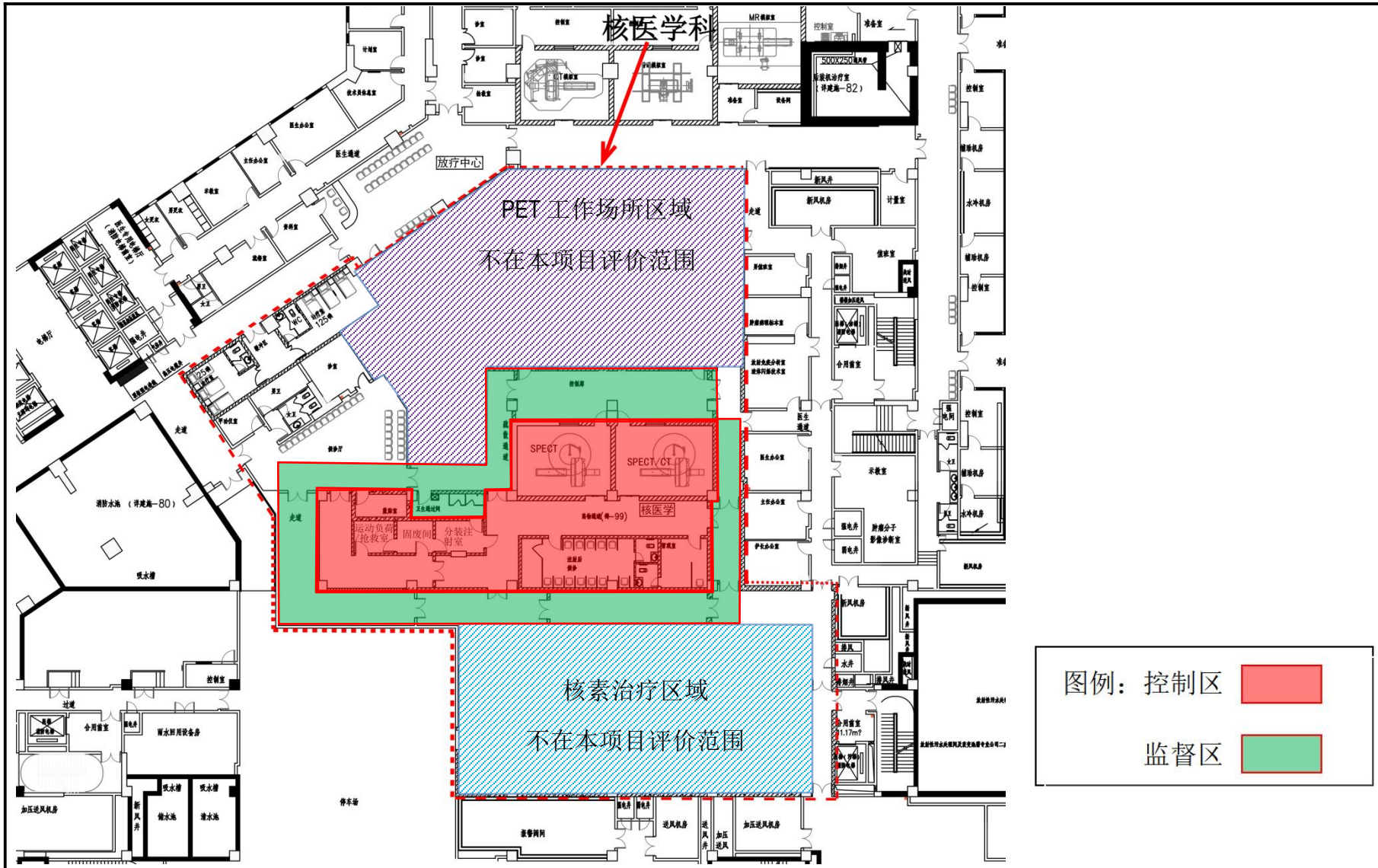


图 10-6 本项目负一楼核医学科辐射工作场所分区示意图

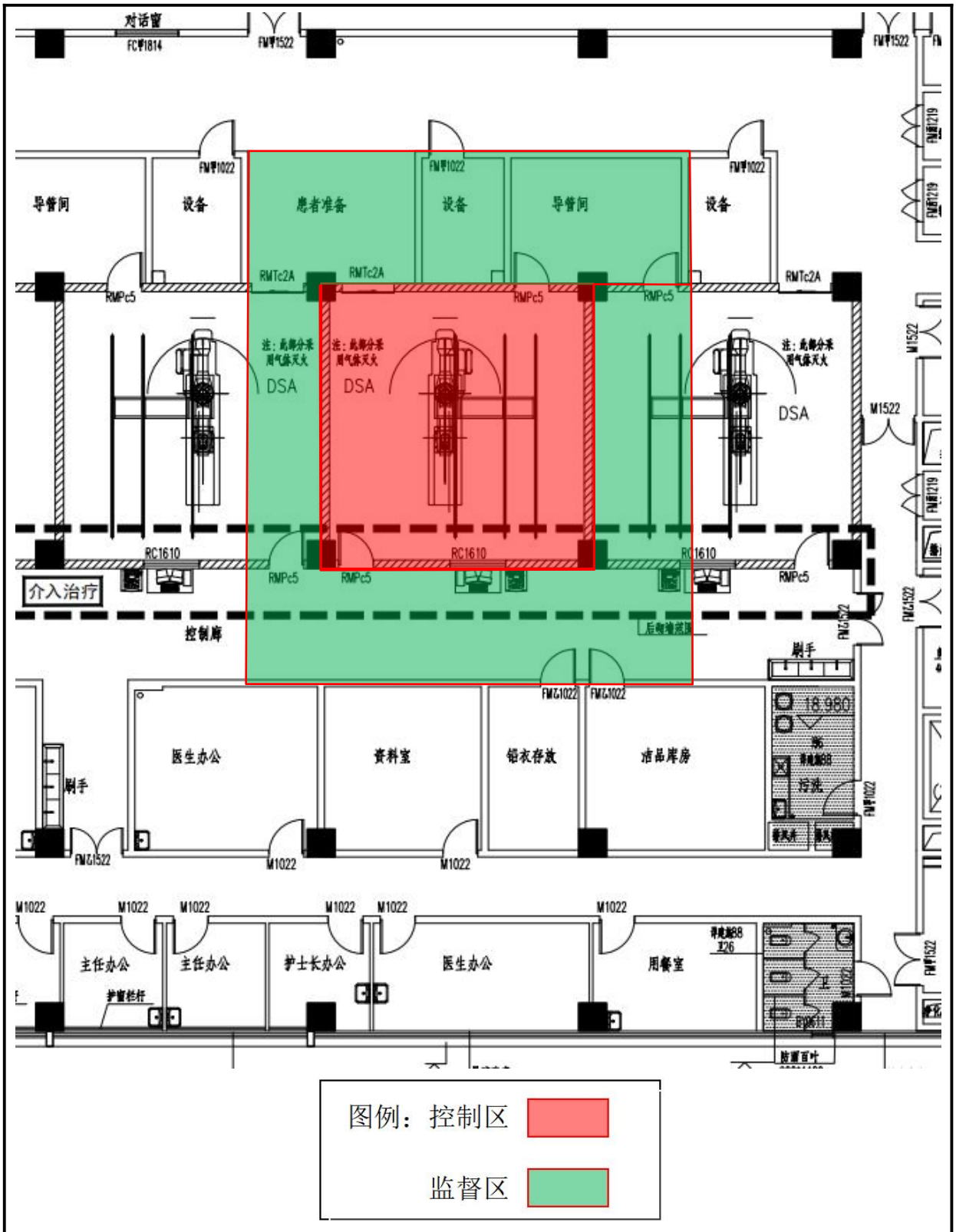


图 10-7 五楼介入 DSA2 室辐射工作场所分区示意图

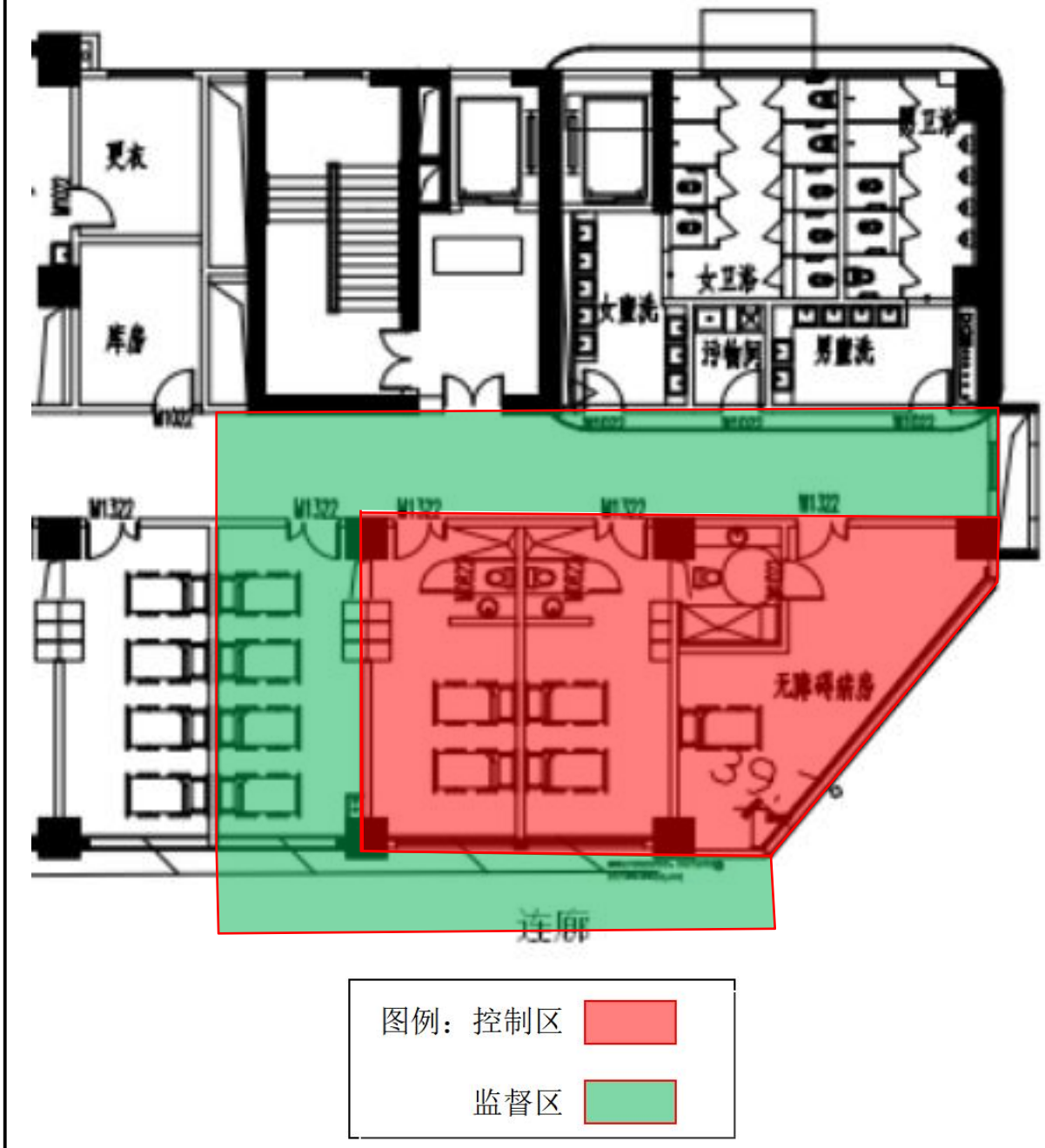


图 10-8 住院楼二楼病房辐射工作场所分区示意图

医院严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。入口设置了规范的电离辐射警告标识及标明控制区的标识，限制了无关人员随意进入，并按要求定期检查辐射剂量水平，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射；在监督区入口处的适当位置设立标明监督区的标识，并进行日常的监测和评估。

此外，药物及患者转运通道、电梯在进行药物转运、患者治疗后转运及放射性废物转运时按照临时控制区管控，除患者及药物转运医务人员穿戴好个人防护用品外，其1m范围内作为临时控制区进行管控，提前隔离无关人员，在经过路线设置警戒线，禁止无关人员靠近；药物及患者转运期间DT-4电梯为专用电梯，医院提前控制电梯停靠楼层，在电梯进出口放置警示标识，转运结束5min后方可对临时管控区解除控制，其余时间可以作为日常工作区使用。因此，本项目涉及的辐射工作场所分区管理符合GB 18871-2002和HJ 1188-2021有关要求。

10.1.5 辐射防护措施

本项目^{90}Y树脂微球的抽取和暂存在同心楼负一楼核医学科分装注射室进行、^{90}Y树脂微球手术在同心楼五楼介入DSA2室进行，病人留观在住院楼二楼专用病房，工作场所相关屏蔽参数见表10-3。

表10-3 工作场所屏蔽参数一览表

DSA2室	指标		参数
	几何尺寸	长×宽	7.26m×6.85m
		机房面积	有效面积49.73m^2
	屏蔽设计	机房顶板	25cm混凝土
		机房底部	25cm混凝土
		四周墙体	24cm实心砖＋3cm硫酸钡水泥
		防护门	3mmPb铅防护门
		观察窗	3mmPb铅玻璃
核医学科分装注射室	指标		参数
	几何尺寸	长×宽	3.76m×2.50m
		房间面积	9.40m^2
	屏蔽设计	四周墙体	20cm混凝土
		顶板	22cm混凝土
		底部	22cm混凝土
		西北侧防护门	3mmPb

		东南侧防护门、东北侧防护门	1mmPb
		通风柜	10mmPb
核医学科SPECT/CT机房	指标		参数
	几何尺寸	长×宽	7.58m×5.46m
		机房面积	有效面积 41.39m^2
	屏蔽设计	机房顶板	22cm 混凝土
		机房底部	22cm 混凝土
		四周墙体	22cm 混凝土
		防护门	3mmPb
		观察窗	3mmPb
住院楼二楼专用病房	指标		参数
	屏蔽设计	四周墙体	20cm 轻质砖+2cm 硫酸钡水泥
		顶板	12cm 混凝土
		底部	12cm 混凝土
		防护门	2mmPb

10.1.6 辐射安全与防护措施

（1）本项目所涉及的辐射工作场所包括：同心楼负一楼核医学科（存储、抽取）、同心楼五楼介入 DSA2 室（注射），均为已运行辐射工作场所，辐射工作场所实行分区管理：设有医生和病人独立通道，控制区出入口设置门禁，限制无关人员出入，同时设置警告标志；在工作人员出入控制区区域设置防护衣具、监测设备等，在监督区入口处设立标明监督区的标牌。

（2）本项目药物及患者转运路线较长，对药物及患者转运通道，电梯在进行药物转运、患者治疗后转运及放射性废物转运时制定时空管理制度。本项目安排在医院人流量最少的时间段进行，转运过程中除患者及药物转运医务人员穿戴好个人防护用品外，其 1m 范围内作为临时控制区进行管控，提前疏散无关人员，禁止在附近停留。在经过路线设置警戒线，禁止无关人员靠近；药物及患者转运期间 DT-4 电梯为专用电梯，医院提前控制电梯停靠楼层，在电梯进出口放置警示标识，转运结束 5min 后方可对临时管控区解除控制，其余时间可以作为日常工作区使用。

（3）在核医学科控制区入口处安装有门禁系统的防护门，在控制区出入口门外张贴电离辐射警告标志，提醒无关人员不要在此区域停留；同时，防止无关人员借受检人员离开之际进入辐射工作场所控制区，受到不必要的照射。

（4）核素储存罐具有屏蔽所暂存核素的能力，放射性物质的放置合理有序、易于取放、每次只取用需要使用的部分。放射核素储存柜定期监测，无关人员不得入内。放射性药物的存取记录要详细、清晰。建立完善放射性药物保管、领用和登记制度。

（5）核医学科设置了固废间，放射性废物收集后暂存于固废间专用衰变桶内，衰变后经检测合格按一般医疗废物处置。实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

（6）从功能分区来看，工作人员办公区域、核素操作、患者等候区和扫描检查区划分明确，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射。

（7）通过制度规范辐射工作人员的操作、人员职责等。在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

（8）核医学科工作场所设计专用厕所、专用下水道，控制区的废水均进入衰变池，衰变池采用钢筋混凝土结构。

（9）^{90}Y转移至V瓶将在现有核医学科分装注射室分装柜内进行，分装柜采取10mm铅进行防护。

（10）为保障 DSA 和 SPECT/CT 安全运行，DSA2 室和 SPECT/CT 机房还采取了以下辐射安全装置和保护措施：①在机房控制台处设置了观察窗，工作人员可通过观察窗观察机房内患者状态。②DSA2 室墙体对外无采光通风窗，在机房内设置了动力通风系统，机房保持了良好的通风，能充分保证室内空气流通。机房内未堆放无关杂物。③机房防护门上方有工作指示灯，用来警示人员不要进入处于工作状态的机房。④机房的防护门上醒目位置贴了“当心电离辐射”标志，用来提示人员不要进入处于工作状态的机房。⑤平开机房门设有自动闭门装置；电动推拉门设置了防夹装置。

（11）本项目同心楼负一楼核医学科放射性工作场所设置有独立排风系统。核医学科设置 3 路独立的负压排风管道，分别经一套活性炭吸附装置处理后汇入排风井，而后引至同心楼建筑楼顶，满足 GBZ120-2020、HJ1188-2021 等相关条款要求。

（12）本项目同心楼五楼介入 DSA2 室设置有 1 套通风系统，手术室内墙体设置有排风口，废气通过排风系统排出机房。

（13）DSA2 室安装有床侧铅防护帘（0.5mm Pb）和铅防护吊屏（0.5mm Pb），工

作人员配置有铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜和铅手套等个人防护用品，均为 0.5mmPb，配备介入铅防护手套，为 0.025mm Pb；为患者配备有铅橡胶方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子，均为 0.5 mmPb。满足 GBZ130-2020 的相关要求。

（14）分装注射室、DSA2 室地面和墙面均平整光滑，地面为 PVC 材质，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易清洗、去污。满足 HJ1188-2021 中 6.2.1 要求。

（15）DSA2 室内拟设置 1 个放射性废物桶（10mmPb），用于含 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 的放射废物收集；分装注射室拟设置 1 个放射性废物桶（10 mmPb），用于含 ^{90}Y 的放射废物收集；固废间拟设置 1 个放射性衰变箱（ 10 mmPb），用于本项目含 ^{90}Y 的放射性废物暂存。满足 HJ1188-2021 中 6.1.8 款要求。

（16）药物进入 DSA2 室后，在本次 ^{90}Y 患者注射结束前为专用机房，期间不会接收其他患者；在 DSA2 室进行核素注射前，提前在治疗床上、操作位置以及地面铺设两层铺材，上面一层为吸水纸，下面一层为防水材料，防止核素撒漏在污染台面或地面。

（17）本项目依托的核医学科相关设施和介入中心 DSA2 室内使用的 DSA 装置已开展环境影响评价，已登记入辐射安全许可证，并且均完成了竣工环保验收，其防护及安全设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等相关要求。

（18）DSA2 室拟配置应急及去污用品（一次性防水手套、防水工作服、去污剂或喷雾，小刷子、吸水纸、一次性镊子等）。每例 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 注射手术结束后，对相关操作台面、地面、墙面、设备设施表面以及工作人员手部、鞋、工作服表面，以及其他可能受污染的区域、带离场所的物品进行检测，确保β表面污染满足相关标准要求。如果超出控制标准，则采取相应的去污措施。满足 HJ1188-2021、T-ACEF36-2024 相关条款要求。

（19）住院楼二楼患者留观专用病房内拟设置有铅屏蔽并配备对讲、监控等设施，每个病房内配备 1 个放射性废物桶（10 mmPb），患者留观期间随身佩戴导尿管，尿袋更换后置于放射性废物箱，尿液不进入病房排水系统，待患者出院时由医护人员统一安全转运至核医学科对应短半衰期衰变池进行暂存 10 倍半衰期（约 27 天）后再排入医院排水系统。

（20）对住院患者近距离护理或转移术后患者时，应在患者右上腹部肝区体表铺设

不小于铅当量 0.5 mm Pb 的铅橡胶方巾，护理人员穿戴不小于铅当量 0.5 mmPb 的个人防护用品。

（21）患者离院前，医院应提供书面和口头的放射防护指导，以便在出院后，能有效减少对家庭成员、护理人员和公众所造成的照射，特别是未成年人和孕妇。

（22）出院患者应建立登记制度并给患者提供一张信息卡，信息卡内容应包括：患者姓名、住址、电话、年龄、有效个人证件号码、治疗部位、医院及电话、检查和治疗日期等。

（23）对药物及患者转运路线上的安保人员进行安全培训，安保人员需与药物及患者保持距离。

10.1.7 ^{90}Y 树脂微球操作管理要求

（1）^{90}Y 树脂微球抽取、活度测量应按照辐射工作场所的级别在通风橱等密闭设备中进行操作，设备应有适当屏蔽。

（2）^{90}Y 树脂微球介入治疗过程中应采取措施（比如用吸水纸等覆盖宜洒落药品的所有区域），避免药品洒落区域污染。

（3）介入注射完 ^{90}Y 树脂微球后，应及时使用辐射监测仪监测，确定导管接口处无残余放射性后方可将微导管从普通导管中移出，经包裹处理后放入带屏蔽的固体放射性废物桶内。

（4）^{90}Y 树脂微球介入治疗场所应配备表面污染监测仪，每次手术结束后对手术床、工作台面、工作椅、地面等区域进行表面污染监测，确保辐射工作场所的表面污染水平低于控制标准；如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

（5）如 ^{90}Y 树脂微球洒落而发生污染，应封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所去污和人员应急处理。

10.1.8 患者的护理

（1）患者在接受树脂微球输注后，需要平躺 2-6 小时止血，并观察是否有术后不良反应。本项目每个留观病房每次安排 1 个病人，严格按照术后留观制度执行。

（2）^{90}Y 发出的β射线能量为 2.284MeV，在人体组织中的最大射程为 11mm，由患者对监护人员造成的辐射危害是微小的，因为放射穿透力在很大程度上将限制在患者身

体内。但是仍应遵守以下预防措施：如果需要更换植入部位/伤口的敷料，护理人员应穿戴铅衣并佩戴手套。将使用过的敷料和手套放在固体废弃物袋子中，统一收集处理。

（3）为了提示患者是有潜在放射性危害的，应当在床头放置一个写有放射性危害的标牌并且患者应当佩戴一条具有电离辐射危害标志的身份腕带以示放射危险。

（4）留观期间该专用病房为临时控制区，门上方设置有电离辐射警示标志，禁止无关人员靠近。

（5）不建议怀孕工作人员在任何时候护理患者。

10.1.9 辐射防护用品

（1）医院应严格规定相关辐射工作人员在辐射工作中做好个人的放射防护，并配备相应的防护用品和检测设备以达到辐射防护的目的，医院核医学科和介入手术室已配备了以下辐射防护用品及检测仪器：

表 10-4 已配备辐射防护用品及检测仪器一览表

介入手术室		核医学科	
防护用品或检测设备	数量	防护用品或检测设备	数量
防护围裙	6 件	铅橡胶防护衣	4 件
铅橡胶帽子	6 个	铅橡胶围脖	4 个
铅橡胶围脖	6 个	铅防护眼镜	4 副
铅防护眼镜	6 副	铅橡胶帽子	4 个
铅手套	2 副	一次性放射性防护服	2 件
方巾	1 块	铅罐	2 个
便携式辐射检测仪	1 台	移动铅防护屏风	1 个
个人剂量报警仪	2 个	便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪	1 台
个人剂量计	手术室内辐射工作人员 2 个/人，操作室内辐射工作人员 1 个/人	α、β表面污染仪	1 台
辐射警示标识	若干	个人剂量报警仪	3 个
/	/	个人剂量计	1 个/人
/	/	辐射警示标识	若干

（2）^{90}Y 树脂微球手术专用的防护配件

^{90}Y 树脂微球手术专用的防护配件是为满足放射安全的基本原则以及协助手术中处

理 ^{90}Y 树脂微球产品而设计的，使用有机玻璃（丙烯酸树脂类）和铅材料。此外，为防止放射性污染，需在手术室中可能存在放射性污染的地面粘贴一次性铺巾，通常是手术台和放置 ^{90}Y 微球推车之间的地板。导管的接头下方需放置双层铺巾，以防止术中发生放射性污染。

表 10-5 ^{90}Y 树脂微球手术专用防护配件一览表

序号	防护用品	数量	备注
1	传输系统防护（有机玻璃，6mm）	1 套/手术	一次性用品，手术完成后，集中收集送至核医学科 UPS 室衰变箱进行衰变处理。
2	V 型瓶防护（V 型瓶支架）（有机玻璃，18mm）	1 个/手术	
3	注射器防护套（有机玻璃，15mm）	1 个/手术	
4	储备瓶（运输瓶）铅罐（6.4mm 铅当量）	1 个/手术	-
5	一次性吸收衬层及托盘	按需配置	容纳任何意外溢漏的污染物

（3）新增检测设备

为了在辐射工作中做好个人的放射防护，医院应新增配备以下防护用品：

表 10-6 新增防护用品一览表

序号	项目	数量
1	^{90}Y 铅罐	1
2	活度计	1
3	V 瓶防护罐	若干
4	^{90}Y 注射防护套	若干
5	^{90}Y 注射防护盒	若干
6	分装注射室放射性废物桶	1
7	DSA2 室放射性废物桶	1
8	留观专用病房放射性废物桶	3
9	固废间放射性废物暂存箱	1
10	手术应急去污用品	若干
11	药物转移箱	4
12	拉杆箱	1
13	介入中心污染防护服	若干

10.2 放射性废物的治理

10.2.1 放射性废水

根据前述，本项目介入中心 DSA2 室在开展 ^{99m}Tc 在介入注射和 ^{90}Y 操作过程中均无放射性废水产生。本项目运营期间，产生的放射性废水主要来自核医学科辐射工作人员 ^{99m}Tc 操作过程中产生少量含放射性核素的废水、患者排泄物、清洁用水等，以及住院楼二楼专用病房留观病人产生的患者排泄物（尿液）。

本项目 ^{99m}Tc 接诊量为 400 人次/年，其中需要进行 ^{90}Y 治疗的患者为 200 人次/年，总接诊人次为 600 人次/年，根据核医学科患者用水量约 15L/人次，排水系数取 0.85，则本项目患者在核医学科产生的含 ^{99m}Tc 放射性废水（患者排泄物）约为 5.1m^3/a，含 ^{90}Y 放射性废水（患者排泄物）约为 2.55m^3/a，即核医学科产生的含 ^{99m}Tc、^{90}Y 放射性废水（患者排泄物）共计约 7.65m^3/a。另外，由于本项目不增加医院已许可的 ^{99m}Tc 最大操作量，不增加医护人员，故不增加相关含 ^{99m}Tc 核素废水和清洁废水等。综上，本项目在核医学科产生的少量放射性废水全部依托核医学科已建放射性废水收集管网进入已建衰变池，经衰变处理达到解控水平后排入医院污水处理站。

对于住院楼二楼专用病房留观患者产生的废水，由于 ^{90}Y 树脂微球可随血流栓塞肿瘤末梢血管而不排出体外，尿液中不含有载药微球，但含有极低 ^{90}Y 核素的活度浓度，即住院患者含 ^{90}Y 放射性废水主要为患者尿液。本项目年接诊 200 位 ^{90}Y 患者，每位患者最大留观时间为 2 天（48 小时），根据 Oliver.S. Grosser 等人通过对进行了 ^{90}Y 树脂微球核素治疗的患者（共计 51 例手术）进行术后 48 小时的排泄物收集、监测和数据研究，患者 48h 内平均排尿量 2325mL，则本项目留观患者含 ^{90}Y 放射性废水（尿液）产生量为 0.465m^3/a，全部收集于患者随身携带的尿袋中。根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险分析研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）中建议“钇-90 树脂微球治疗患者住院期间产生的放射性废液应单独收集存放，暂存一周后可自行排放。初次使用的单位建议对收集的废液进行监测”。本项目患者住院留观期间产生的放射性废液为尿液，通过插导尿管可以将尿液全部收集至尿袋中，尿袋更换后置于病房内配备的放射性废物桶，患者出院时由医护人员统一安全转运至核医学科对应短半衰期衰变池进行暂存 10 倍半衰期（约 27 天）后再排入医院排水系统。

10.1.2 放射性废气

^{90}Y 树脂微球为悬浮液，悬浮溶液为无菌水，无挥发性，且在治疗全过程中，^{90}Y

树脂微球不暴露在空气，且游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇形式存在，氯化钇不具备挥发性，因此，本项目无放射性气体产生。仅核医学科、介入手术室在事故工况下产生微量放射性废气。

本项目依托的 DSA2 室配置有排风系统，其事故状态下产生的放射性废气活度极低，通过机房排风口排出，对周围环境几乎无影响。

本项目依托的核医学科设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，通过负压排风管道排放。分装柜设置有独立排风管道，通风速度不小于 0.5m/s；分装注射室、SPECT/CT 机房均设置独立排风管道；其他辐射工作场所均按照监督区流向控制区的气流流向设置负压排风管道。各排风管道端口处设置活性炭过滤装置，并在活性炭饱和前及时进行更换，保证过滤装置的过滤有效性，避免污染工作场所和环境。排风口引至同心楼建筑楼顶排放，排风口朝向天空。经处理后，核医学科产生的含放射性废气对周围环境影响很小。

10.1.3 放射性固体废物

由污染源分析可知，本项目新增的放射性固体废弃物主要包括使用 ^{90}Y 树脂微球治疗过程中产生的放射性固体废物（包括注射 ^{90}Y、^{99m}Tc 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内管等），以及剩余 ^{90}Y 液体，若手术中出现 ^{90}Y 树脂微球洒漏，则还可能产生吸水纸、去污用纸、医护人员手套、手术服、口罩、眼罩、有机玻璃盒子等。其中：输注 ^{99m}Tc 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内管等，总重量约 150g/例；输注 ^{90}Y 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、含 ^{90}Y 残液的 V 瓶、有机玻璃防护罐等放射性固体废物合计约 650g/例。即开展一次 ^{90}Y 微球介入治疗产生放射性固体废物约 0.8kg，每年产生放射性固体废物约 190kg。

（1）本项目在核医学科产生的 ^{99m}Tc、^{90}Y 有关放射性固体废物依托放射性废物收集桶和衰变暂存箱（核医学科已履行环评、竣工环境保护验收手续，依托具有可行性），在 DSA2 室产生的 ^{99m}Tc、^{90}Y 有关放射性固体废物经新增放射性废物桶收集，经记录、打包后转至核医学科固废间衰变暂存箱进行停留衰变。经停留衰变满足清洁解控水平后（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，含半核素衰期大于 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）作为医疗废物处理，废物包装体外表面的污染控制水平需满足β<0.4Bq/cm^{2}清洁解控后的废物运至医院医疗废物暂存间暂存，最终交由有医疗废物处理资质的单位处置。衰变池废渣一般随放射性废水一起停留衰变后排放；放射性废气收集处理系统更换的废旧活性炭置于衰变箱内，停留衰变满足清洁解控水平后，经监测满足要求后作为一般医疗废物处置。

（2）用来收集放射性固体废弃物的专用污物桶须贴上电离辐射标志，并与普通医疗废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及封存时间。此外，医院剩余的药物也应该统一存放于专用容器中，放置在放射性固体废物间存放达到清洁解控水平，经监测符合相关规定后，当作普通医疗废物处理。

①设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

②供收集废物的污物桶具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

③每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。废物包装体外表面的污染控制水平：β＜0.4Bq/cm^2。

④放射性废物间出入处设电离辐射警告标志。废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

⑤本项目产生的放射性固体废物收集后，置于专用衰变箱内，衰变达到清洁解控水平后按医疗废物处置。放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，跟踪固废的处理方式和最终去向，做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

10.2 环保投资

本项目环保投资为 44.8 万元，占总投资的 29.9%，用于辐射安全防护措施的建设，详情如下表 10-7 所示。

表 10-7 项目环保投资一览表

序号	项目	数量	投资（万元）	备注
1	患者病房辐射防护设计施工	3 间	24	/
2	^{90}Y 铅罐	1 个	0.5	新增
3	活度计	1 台	4	新增
4	V 瓶防护罐	若干	0.5	新增
5	分装注射室放射性废物桶	1 个	0.5	新增
6	固废间 ^{90}Y 衰变暂存箱	1 个	1.0	新增
7	DSA2 室放射性废物桶	1 个	0.5	新增
8	留观专用病房放射性废物桶	3 个	1.5	新增
9	^{90}Y 注射防护套	若干	0.3	新增
10	^{90}Y 注射防护盒	若干	0.3	新增
11	手术应急去污用品	若干	0.5	新增
12	药物转移箱	4	0.2	新增
13	拉杆箱	1	0.5	新增
14	介入中心污染防护服	若干	0.5	新增
15	环境监测	/	2	新增
16	环评及环保验收	/	8	新增
24	合计		44.8	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目依托已有的核医学科、DSA2 室和专用病房实施，现有辐射防护设计已满足新增核素后场所的辐射防护要求，故无土建、装修工程，同时项目不购入设备，无设备安装调试环节，建设期对环境无影响。

本项目患者专用病房由普通病房改造，涉及建筑改造装修，在病房的改建过程中，应采取污染防治措施，减轻对医院及周边地区的环境影响。项目施工时会产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，对环境会产生如下影响：

（1）大气：本项目在建设施工期，由于涉及建筑改造装修，施工将产生地面扬尘，另外运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域和大楼周边路面。针对上述大气污染采取以下措施：①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；②车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；③施工地面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：整个施工阶段，施工设备在运行中将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。因此，在施工时严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时应避免在中午休息时间施工，另外考虑院区周围公众，严禁夜间进行噪声作业。本项目施工工期相对较短，在严格执行噪声标准，并且合理安排施工时间的情况下，噪声对周围人群的影响是暂时的。

（3）固体废物：施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，医院应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，会有少量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水不可随意外排，应统一收集后由医院进行处理。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本项目运行过程中使用 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y，同时配套使用 DSA 和 SPECT/CT，本项目使

用 ^{99m}Tc 核素放射 141keV 的γ射线；^{90}Y 为纯β核素，高能β射线与物质会发生韧致辐射，因此，本项目主要考虑核素 ^{99m}Tc 衰变产生的γ射线、^{90}Y 衰变放出的β射线及其韧致辐射，以及 DSA 和 SPECT/CT 运行时产生的 X 射线影响。分析预测核素在使用过程工作区周围贯穿辐射水平，以及工作人员和周围公众的受照剂量。

剂量估算中，将接受药物注射后的患者身体、装有放射性药物的容器近似作为点源，依照剂量率和距离成平方反比衰减的关系，同时考虑墙壁和防护门、窗的衰减作用，估算场所等有代表性场所周围的辐射剂量率和对职业人员、公众的附加照射剂量，以及职业人员在患者摆位和药物注射等环节所受到的辐射照射剂量。

1.核医学诊疗场所的使用规划

本项目拟使用的放射性核素种类、用途以及最大工作量等信息详见表 11-1。

表 11-1 本项目核医学场所的使用规划

场所	核素种类	人次/天	人次/周	人/年	单次最大用量（Bq）	年用量（Bq）	用途
同心楼负一楼核医学科	^{90}Y	3	3	200	3.00E+09	6.00E+11	抽取、活度测量
	^{99m}Tc	6	6	400	1.85E+08	7.40E+10	贮存、分装
同心楼五楼介入 DSA2 室	^{90}Y	3	3	200	2.50E+09	5.00E+11	介入注射
	^{99m}Tc	6	6	400	1.48E+08	5.92E+10	介入注射

2.^{99m}Tc 辐射影响分析

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H、L 可知，项目使用的放射性同位素 ^{99m}Tc 衰变产生的γ射线能量为 0.140MeV，对于裸源 ^{99m}Tc 单位放射性活度所致 1m 处的周围剂量当量率为 0.0303μSv·m^2/(h·MBq)，患者体内 ^{99m}Tc 单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 0.0207μSv·m^2/(h·MBq)。

γ射线的贯穿能力很强，故评价主要考虑放射性同位素的γ射线辐射影响。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020） 附录 I 中的核算公式，计算γ射线所致的辐射影响。

$$X=TVL\times\lg\left(\frac{A\times\Gamma}{r^2}\right) \qquad （式 11-1）$$

式中：*X*—屏蔽厚度，mm；

TVL—γ射线的十分之-值层厚度，mm；

A—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·m²/(h·MBq）；

H_0—屏蔽体外关注点剂量率控制值，μSv/h；

r—参考点与放射源间的距离，m。

根据上述公式，若已知屏蔽体厚度，则关注点外剂量率$\dot{H}$的核算由公式 11-1 转换为：

$$\dot{H}=\frac{A\times\Gamma}{r^2\times10^{\frac{X}{TVL}}} \qquad （式 11-2）$$

式中：$\dot{H}$—屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020） 附录 L，患者或受检者家人或探访者与患者或受检者接触的距离小于 3m 时，此时若辐射剂量的距离衰减按反平方估算误差会较大，按反 1.5 次方估算误差会相对较小。γ射线所致的辐射影响的计算公式如下：

$$\dot{H}=\frac{A\times\Gamma}{r^{1.5}\times10^{\frac{X}{TVL}}} \qquad （式 11-3）$$

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 可知，放射性同位素 ^{99m}Tc 的十分之一值层厚度（*TVL*)：铅（密度：11.3g/cm³）：1mm；混凝土（密度：2.35g/cm³)：110mm；砖（密度：1.65g/cm³)：160mm。硫酸钡水泥的十分之一值层厚度根据其密度（2.8g/cm³）与混凝土密度的比例折算约为 92mm。

分装抽取量以 1.85E+08Bq（5mCi）进行预测，每位患者最大服药量以 1.48E+08Bq（4mCi）进行预测。工作人员穿戴 0.5mmPb 铅衣和 0.025mmPb 防护手套，DSA2 室内均配备有 0.5mmPb 床侧防护帘和 0.5mmPb 防护吊屏。

（1）分装过程

由核医学科人员完成，在分装注射室 SPECT 分装柜内进行，分装后的药物放入 6mmPb 防护盒中，分装柜为 10mmPb 屏蔽厚度，工作人员穿戴 0.5mm 铅防护衣，鉴于操作时分装柜不完全封闭，故计算时对操作人员仅考虑铅衣屏蔽作用。因此，预测距离取 0.5m，则根据式 11-2 可得，分装柜外操作位处剂量率为 $185\times0.0303/(0.5^2\times10^{0.5/1})$ =7.09μSv/h。而职业人员手部剂量率（距离取 10cm）约为 $185\times0.0303/(0.1^2\times10^{0.025/1})$ =529.19μSv/h。

（2）转运过程

^{99m}Tc 放射性药物转运时，由核医学科人员完成，药物外有 6mmPb 注射器防护套和 6mmPb 转运防护盒，则防护盒外 30cm 处剂量率约为 148×0.0303/(0.3^2×10$^{12/1}$)=4.98E-11μSv/h，防护盒外 1m 处剂量率约为 148×0.0303/(1^2×10$^{12/1}$)=4.48E-12μSv/h，辐射影响可忽略不计。同理，本项目 DSA2 室产生的 ^{99m}Tc 放射性废物活度远远低于药物。因此，当日 ^{99m}Tc 放射性药物及废物转运对职业人员与公众的辐射影响甚微。

（3）DSA 机房模拟输注过程

该过程 1h 内仅治疗 1 个病人，DSA 介入手术室外还应考虑 X 射线的影响，X 射线剂量率贡献值取自 DSA2 室辐射环境竣工验收检测报告（报告编号 YS24351458-1），详见附件 18，使用 ^{99m}Tc 介入注射时 DSA2 室周围辐射剂量估算如下表所示：

表 11-2 使用 ^{99m}Tc 介入注射时 DSA2 室周围辐射剂量估算一览表

关注点	屏蔽材料	计算参数				计算结果		
		A (MBq)	Γ(μSv·m^2/(h·MBq)	TVL (mm)	*R* (m)	^{99m}Tc 剂量率（μSv/h）	DSA 剂量率（μSv/h）	总剂量率（μSv/h）
西南侧防护门外 30cm 处 A1	3mmPb 铅门	148	0.0303	TVL（铅）=1mm	5.80	1.33E-04	6.10E-01	6.10E-01
西南侧观察窗外 30cm 处 A2	3mmPb 铅玻璃	148	0.0303	TVL（铅）=1mm	5.47	1.50E-04	1.60E-01	1.60E-01
西南侧墙体外 30cm 处控制廊 A3	24cm 实心砖＋3cm 硫酸钡水泥	148	0.0303	TVL（砖）=160mm，TVL（硫酸钡）=92mm	5.36	2.33E-03	1.50E-01	1.52E-01
东南侧墙体外 30cm 处 DSA1 室 A4	24cm 实心砖＋3cm 硫酸钡水泥	148	0.0303	TVL（砖）=160mm，TVL（硫酸钡）=92mm	4.54	3.25E-03	1.50E-01	1.53E-01
东北侧导管间防护门外 30cm 处 A5	3mmPb 铅门	148	0.0303	TVL（铅）=1mm	4.11	2.65E-04	3.90E-01	3.90E-01

东北侧墙体外30cm处设备间A6	24cm实心砖＋3cm硫酸钡水泥	148	0.0303	TVL（砖）=160mm，TVL（硫酸钡）=92mm	3.45	5.62E-03	1.50E-01	1.56E-01
东北侧患者进出防护门外30cm处患者准备区 A7	3mmPb铅门	148	0.0303	TVL（铅）=1mm	3.82	3.07E-04	1.50E-01	1.50E-01
西北侧墙体外30cm处DSA3室A8	24cm实心砖＋3cm硫酸钡水泥	148	0.0303	TVL（砖）=160mm，TVL（硫酸钡）=92mm	3.86	4.49E-03	1.40E-01	1.44E-01
楼上	25cm混凝土	148	0.0303	TVL（混凝土）=110mm	4.50	1.18E-03	1.50E-01	1.51E-01
楼下	25cm混凝土	148	0.0303	TVL（混凝土）=110mm	3.80	1.66E-03	1.50E-01	1.52E-01
注射医师手部	0.025	148	0.0303	TVL（铅）=1mm	0.3	4.70E+01	/	4.70E+01
注射医师位（等同第一术者位）	0.5	148	0.0303	TVL（铅）=1mm	0.5	5.67E+00	4.26E+01	4.83E+01
第二术者位	0.5	148	0.0303	TVL（铅）=1mm	1.0	1.42E+00	4.20E+01	4.34E+01

备注：（1）DSA剂量率摘自医院DSA2室辐射环境竣工验收检测报告。

（2）放射性同位素^{99m}Tc在铅、混凝土、砖屏蔽材料下的十分之一值层厚度（TVL）来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I，即：铅（密度：11.3g/cm^3）：1mm；混凝土（密度：2.35g/cm^3）：110mm；砖（密度：1.65g/cm^3）：160mm；硫酸钡水泥的十分之一值层厚度根据其密度（2.8g/cm^3）与混凝土密度（2.35g/cm^3）的比例折算约为92mm。

（3）硫酸钡水泥表观密度在2.5～7.0g/cm^3，通常在2.8g/cm^{3}左右，故本次评价取值2.8g/cm^3。

（4）由于硫酸钡水泥又称重金属商品混凝土，属于混凝土中的一种，其性质与普通混凝土相似，主要是因其密度比普通混凝土大而具备更好的防辐射屏蔽效果，故其什值层厚度及等效铅当量折算按其与混凝土密度（2.35g/cm^3）的比例折算合理可行。

由上表可得，本项目在同心楼五楼介入DSA2室开展^{99m}Tc（4mCi）术前评估时机房外剂量率最大为6.10E-01μSv/h，不会对DSA2室外周围剂量率造成明显的辐射影响。

（3）SPECT/CT机房扫描过程

根据本项目所依托的核医学科SPECT/CT机房的辐射环境竣工验收检测报告，检测条件为20mCi的^{99m}Tc药液，同时用100kV、150mA条件进行CT扫描，检测结果为机

房外剂量率为 1.79E-01~1.97E-01 μSv/h，低于 2.5μSv/h 剂量率控制目标值。因此，从辐射防护的可靠性考虑，本项目 ^{99m}Tc 药液活度仅为 4mCi，依托于 SPECT/CT 机房的辐射防护能力是可行的。

3.^{90}Y 辐射影响分析

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心，2021 年 8 月 23 日），^{90}Y 发射的β粒子在不同物质中的射程如表 11-3 所示：

表 11-3　^{90}Y 核素发射的β粒子在不同物质中的射程

序号	材料	有效原子序数	密度 p（g/cm^3）	射程（cm）
1	空气	7.36	1.293E-03	835
2	普通玻璃	10.6	2.4~2.6	0.42
3	有机玻璃	5.85	1.18	0.93
4	铅	82	11.34	0.097
5	水	6.66	1	1.1
6	塑料	/	1.4	0.79

本项目 ^{90}Y 主要为β衰变，根据表 11-3，β粒子可以完全被 0.42cm 普通玻璃、0.93cm 有机玻璃、1.1cm 水、0.097cm 铅完全阻挡，而人体软组织的有效原子序数、原子量与水很相似。因此，软组织采用水的数据，β粒子亦能被 1.1cm 人体组织完全阻挡（人体组织厚度一般约 2cm）。职业人员不会直接接触 ^{90}Y，β射线对工作人员以及公众的影响可以忽略。

（1）韧致辐射产生的剂量率

辐射剂量率估算公式：

①β粒子的韧致辐射

《辐射防护导论》中给出屏蔽层中由β粒子产生的韧致辐射的韧致辐射份额，屏蔽层中由β粒子产生的韧致辐射在空气中的吸收剂量率。

入射的β粒子在屏蔽材料中被完全阻止时，转移给韧致辐射的能量分数为：

$$F= 3.33\times10^{-4}ZeE_{max} \qquad （式 11-4）$$

式中，E_{max}—β粒子最大能量，MeV；

Ze—屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数。

从公式 11-4 中得出，^{90}Y 核素在屏蔽材料铅中，转移给韧致辐射的能量分数为 6.24%；在屏蔽材料有机玻璃中，转移给韧致辐射的能量分数为 0.44%。

②β粒子产生的韧致辐射剂量率

无屏蔽时，《辐射防护导论》中给出屏蔽层中由β粒子产生的韧致辐射在 1m 处空气中的吸收剂量率为：

$$\dot{D}=4.58\times10^{-14}A\cdot Z_e\cdot\left(\frac{E_b}{r}\right)^2\cdot\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \qquad （式 11-5）$$

式中：

$\dot{D}$—屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在 r（m）处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A—放射源活度（Bq）；

E_b—β粒子韧致辐射光子平均能量（MeV），韧致辐射为连续谱，本项目屏蔽估算时光子平均能量 E_b 取最大能量 2.284MeV 的 1/3，即 0.9348MeV；

Z_e—屏蔽材料的有效原子系数；

μ_{en}/ρ—平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m^2/kg，由《辐射防护导论》附表 1 查得，本项目空气的质量能量吸收系数为 $2.818\times10^{-3}\ m^2/kg$。

r—距源的距离，m。

本评价将放射性同位素简化成点源，根据公式 11-5 和表 11-3 中相关参数，空气的韧致辐射 1m 处剂量率估算结果见表 11-4。

表 11-4　^{90}Y 在空气屏蔽材料 1m 处韧致辐射的吸收剂量率

核素名称	有效原子系数 Z_e	平均能量 E_b（MeV）	质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ（m^2/kg）	周围剂量当量率 H $\mu Sv\cdot m^2/(h\cdot MBq)$
^{90}Y	7.36（空气）	0.9348	2.818E-03	8.30E-04

备注：β的品质因子为 1，1μGy/h=1μSv/h。

有屏蔽时，随距离变化的空气吸收剂量率计算公式为：

$$H = H_0\times2^{-dp/HVL} \qquad （式 11-6）$$

式中：

H_0—无辐射屏蔽时，在距源 r 米处的空气吸收剂量率，Gy/h；

H—屏蔽减弱后，在距源 r 米处的空气吸收剂量率，Gy/h；

HVL—半值层厚度，mm；

d_ρ—屏蔽层厚度，mm。

③辐射剂量率水平计算结果

（1）屏蔽前

屏蔽前场所周围不同位置的辐射剂量率水平估算结果见表 11-5 所示，估算点位示意图见图 11-1 和图 11-2 所示。

表 11-5 屏蔽前 ^{90}Y 韧致辐射计算参数及结果一览表

关注点			A(Bq)	Z	E_{b}(MeV)	μ_{en}/ρ (m^2/kg)	r(m)	D(μGy/h)
同心楼负一楼核医学科 ^{99m}Tc 分装注射室	药物抽取与活度测量	分装人员手部（距源 10cm 处）	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	0.1	2.49E+02
		分装人员位（分装柜外 30cm，距源 50cm）	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	0.5	9.96E+00
	分装注射室外 30 cm	西南侧患者通道 B1	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	2.56	3.80E-01
		东南侧防护门外 B2	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.35	2.22E-01
		东南侧患者通道 B3	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.27	2.33E-01
		东北侧防护门外 B4	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	2.81	3.15E-01
		东北侧卫生通过间 B5	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	0.94	2.82E+00
		西北侧固废间 B6	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	1.49	1.12E+00
		西北侧防护门外 B7	3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	1.96	6.48E-01
	分装注射室楼上		3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	5.50	8.23E-02
	分装注射室楼下		3.00E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	4.30	1.35E-01
转运	转运装置外 30cm		2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	0.3	2.31E+01
	转运装置外 1m		2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	1	2.08E+00
同心楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房	机房外 30cm	东北侧防护门外 C1	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	5.06	8.10E-02
		东北侧观察窗外 C2	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.04	2.25E-01
		东北侧控制廊 C3	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	2.91	2.45E-01
		东南侧医护通道 C4	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.68	1.53E-01
		西南侧患者通道 C5	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.90	1.36E-01
		西南侧防护门外 C6	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	4.99	8.33E-02

		西北侧预留 SPECT 机房 C7	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	5.24	7.56E-02
	机房楼上		2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	5.50	6.86E-02
	机房楼下		2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	4.30	1.12E-01

表 11-5 屏蔽前 ^{90}Y 韧致辐射计算参数及结果一览表（续表）

关注点			A(Bq)	Z	E_{b}(MeV)	μ_{en}/p (m^2/kg)	r(m)	D(μGy/h)
同心楼五楼介入 DSA2 室	手术室外 30cm	西南侧防护门外 A1	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	5.80	6.17E-02
		西南侧观察窗外 A2	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	5.47	6.94E-02
		西南侧控制廊 A3	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	5.36	7.22E-02
		东南侧 DSA1 室 A4	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	4.54	1.01E-01
		东北侧导管间防护门外 A5	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	4.11	1.23E-01
		东北侧设备间 A6	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.45	1.74E-01
		东北侧患者进出防护门外 A7	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.82	1.42E-01
		西北侧 DSA3 室 A8	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.86	1.39E-01
	手术室楼上		2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	4.50	1.02E-01
	手术室楼下		2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	3.80	1.44E-01
	介入注射	注射医师手部	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	0.3	2.31E+01
		注射医师位（等同第一术者位）	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	0.5	8.30E+00
		第二术者位	2.50E+09	7.36	0.9348	2.818E-03	1	2.08E+00
备注：同心楼负一楼核医学科层高为 5.5m，其楼下层高为 5.0m；同心楼五楼介入中心及其楼下层高均为 4.5m。								

（2）屏蔽后

屏蔽后场所周围不同位置的辐射剂量率水平估算结果见表 11-6 所示，估算点位示意图见图 11-1 和图 11-2 所示。

表 11-6 屏蔽后 ^{90}Y 韧致辐射计算参数及结果一览表

关注点			屏蔽层及厚度	计算参数		计算结果
				H_0 (μGy/h)	HVL(mm)	Hp (μGy/h)
同心楼负一楼核医学科 ^{99m}Tc 分装注射室	药物抽取与活度测量	分装人员手部（距源 10cm 处）	0.025mmPb 手套	2.49E+02	HVL（铅）=9mm	2.49E+02
		分装人员位（分装柜外 30cm，距源 50cm）	0.5mmPb 铅衣（因分装时通风柜不完全关闭，不考虑分装柜铅屏蔽作用）	9.96E+00	HVL（铅）=9mm	9.58E+00
	分装注射室外 30 cm	西南侧患者通道 B1	200mm 混凝土+铅分装柜（10mmPb）	3.80E-01	HVL（混凝土）=50mm，HVL（铅）=9mm	1.10E-02
		东南侧防护门外 B2	铅门（1mmPb）+铅分装柜（10mmPb）	2.22E-01	HVL（铅）=9mm	9.52E-02
		东南侧患者通道 B3	200mm 混凝土+铅分装柜（10mmPb）	2.33E-01	HVL（混凝土）=50mm，HVL（铅）=9mm	6.74E-03
		东北侧防护门外 B4	铅门（1mmPb）+铅分装柜（10mmPb）	3.15E-01	HVL（铅）=9mm	1.35E-01
		东北侧卫生通过间 B5	200mm 混凝土+铅分装柜（10mmPb）	2.82E+00	HVL（混凝土）=50mm，HVL（铅）=9mm	8.16E-02
		西北侧固废间 B6	200mm 混凝土+铅分装柜（10mmPb）	1.12E+00	HVL（混凝土）=50mm，HVL（铅）=9mm	3.24E-02
		西北侧防护门外 B7	铅门（3mmPb）+铅分装柜（10mmPb）	6.48E-01	HVL（铅）=9mm	2.38E-01
	分装室楼上		220mm 混凝土+铅分装柜（10mmPb）	8.23E-02	HVL（混凝土）=50mm，HVL（铅）=9mm	1.80E-03
	分装室楼下		220mm 混凝土+铅分装柜（10mmPb）	1.35E-01	HVL（混凝土）=50mm，HVL（铅）=9mm	2.96E-03
转运	转运装置外 30cm		10mmPb	2.31E+01	HVL（铅）=9mm	1.07E+01
	转运装置外 1m		10mmPb	2.08E+00	HVL（铅）=9mm	9.63E-01

表 11-6 屏蔽后 ^{90}Y 韧致辐射计算参数及结果一览表（续表）

关注点			屏蔽层及厚度	计算参数		计算结果
				H_0 (μGy/h)	HVL(mm)	Hp (μGy/h)
同心楼负一楼核医学科SPECT/CT机房	机房外30cm	东北侧防护门外 C1	铅门（3mmPb）	8.10E-02	HVL（铅）=9mm	6.43E-02
		东北侧观察窗外 C2	铅玻璃窗（3mmPb）	2.25E-01	HVL（铅）=9mm	1.79E-01
		东北侧控制廊 C3	220mm 混凝土	2.45E-01	HVL（混凝土）=50mm	1.16E-02
		东南侧医护通道 C4	220mm 混凝土	1.53E-01	HVL（混凝土）=50mm	7.25E-03
		西南侧患者通道 C5	220mm 混凝土	1.36E-01	HVL（混凝土）=50mm	6.44E-03
		西南侧防护门外 C6	铅门（3mmPb）	8.33E-02	HVL（铅）=9mm	6.61E-02
		西北侧预留 SPECT 机房 C7	220mm 混凝土	7.56E-02	HVL（混凝土）=50mm	3.58E-03
	机房楼上		220mm 混凝土	6.86E-02	HVL（混凝土）=50mm	3.25E-03
	机房楼下		220mm 混凝土	1.12E-01	HVL（混凝土）=50mm	5.31E-03
同心楼五楼介入DSA2室	手术室外30cm	西南侧防护门外 A1	铅门（3mmPb）	6.17E-02	HVL（铅）=9mm	4.90E-02
		西南侧观察窗外 A2	铅玻璃窗（3mmPb）	6.94E-02	HVL（铅）=9mm	5.51E-02
		西南侧控制廊 A3	240mm 实心砖＋30mm 硫酸钡水泥	7.22E-02	HVL（实心砖）=71mm，HVL（硫酸钡水泥）=42mm	4.23E-03
		东南侧 DSA1 室 A4	240mm 实心砖＋30mm 硫酸钡水泥	1.01E-01	HVL（实心砖）=71mm，HVL（硫酸钡水泥）=42mm	5.91E-03
		东北侧导管间防护门外 A5	铅门（3mmPb）	1.23E-01	HVL（铅）=9mm	9.76E-02
		东北侧设备间 A6	240mm 实心砖＋30mm 硫酸钡水泥	1.74E-01	HVL（实心砖）=71mm，HVL（硫酸钡水泥）=42mm	1.02E-02
		东北侧患者进出防护门外 A7	铅门（3mmPb）	1.42E-01	HVL（铅）=9mm	1.13E-01
		西北侧 DSA3 室 A8	240mm 实心砖＋30mm 硫酸钡水泥	1.39E-01	HVL（实心砖）=71mm，HVL（硫酸钡水泥）=42mm	8.14E-03
	手术室楼上		250mm 混凝土	1.02E-01	HVL（混凝土）=50mm	3.19E-03

	手术室楼下		250mm 混凝土	1.44E-01	HVL（混凝土）=50mm	4.50E-03
	介入注射	注射医师手部	0.025mmPb 手套	2.31E+01	HVL（铅）=9mm	2.31E+01
		注射医师位（等同第一术者位）	0.5mmPb 铅衣	8.30E+00	HVL（铅）=9mm	7.99E+00
		第二术者位	0.5mmPb 铅衣	2.08E+00	HVL（铅）=9mm	2.00E+00
备注：（1）转运装置按 1m 进行控制，转运过程须保持 1m 以上距离；（2）HVL 取值参考《辐射剂量与防护》(霍雷、刘剑利、马永和)表 6-10 中 E 为 1.0MeV 对应的半减弱层厚度，即铅（11.3g/m³）9mm，混凝土（2.35g/m³）50mm；（3）砖的半值层厚度根据其密度（1.65g/m³）与混凝土密度（2.35g/cm³）比值取 71mm，硫酸钡水泥的半值层厚度根据其密度（2.8g/cm³）与混凝土密度（2.35g/cm³）比值取 42mm。						

由表 11-6 可见，本项目运行后，本项目场所边界外的辐射剂量率水平最大为 2.38E-01 μSv/h（分装注射室西北侧防护门外），即操作 ^{90}Y 时，核医学科分装注射室外、SPECT/CT 机房外和介入中心 DSA2 室外 30cm 剂量率均满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的控制要求。

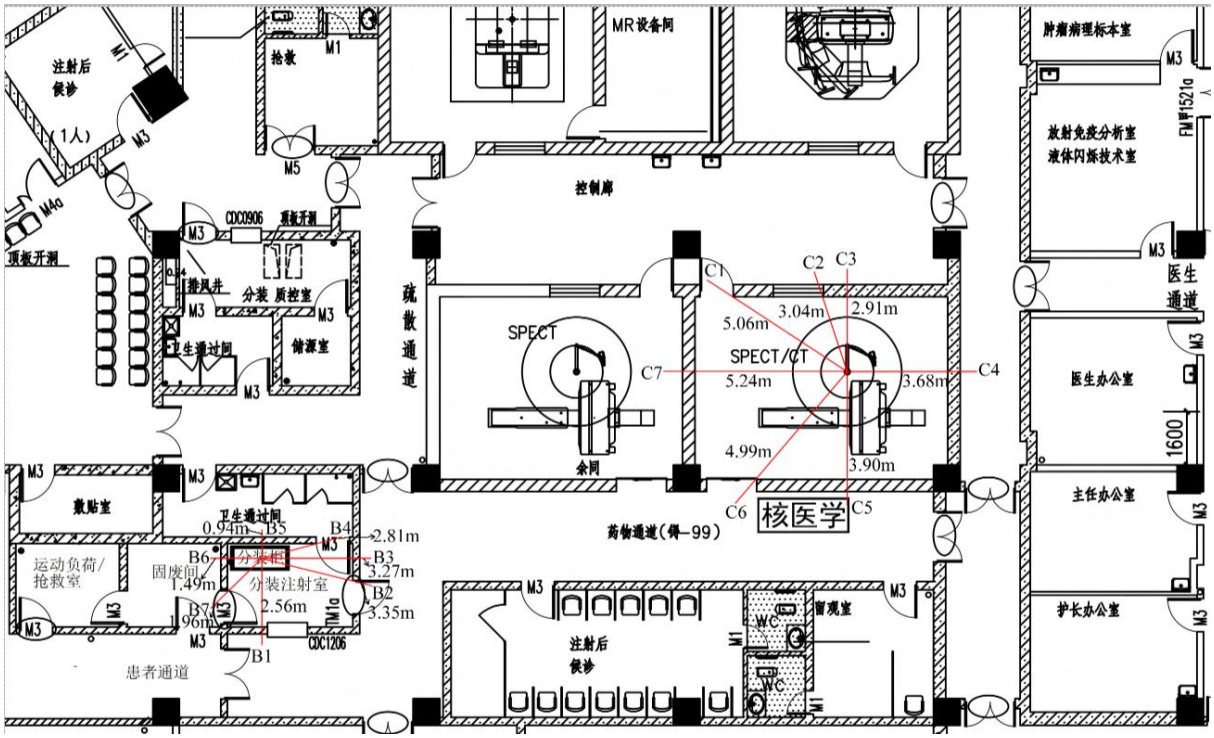


图 11-1　同心楼负一楼核医学科估算点位示意图

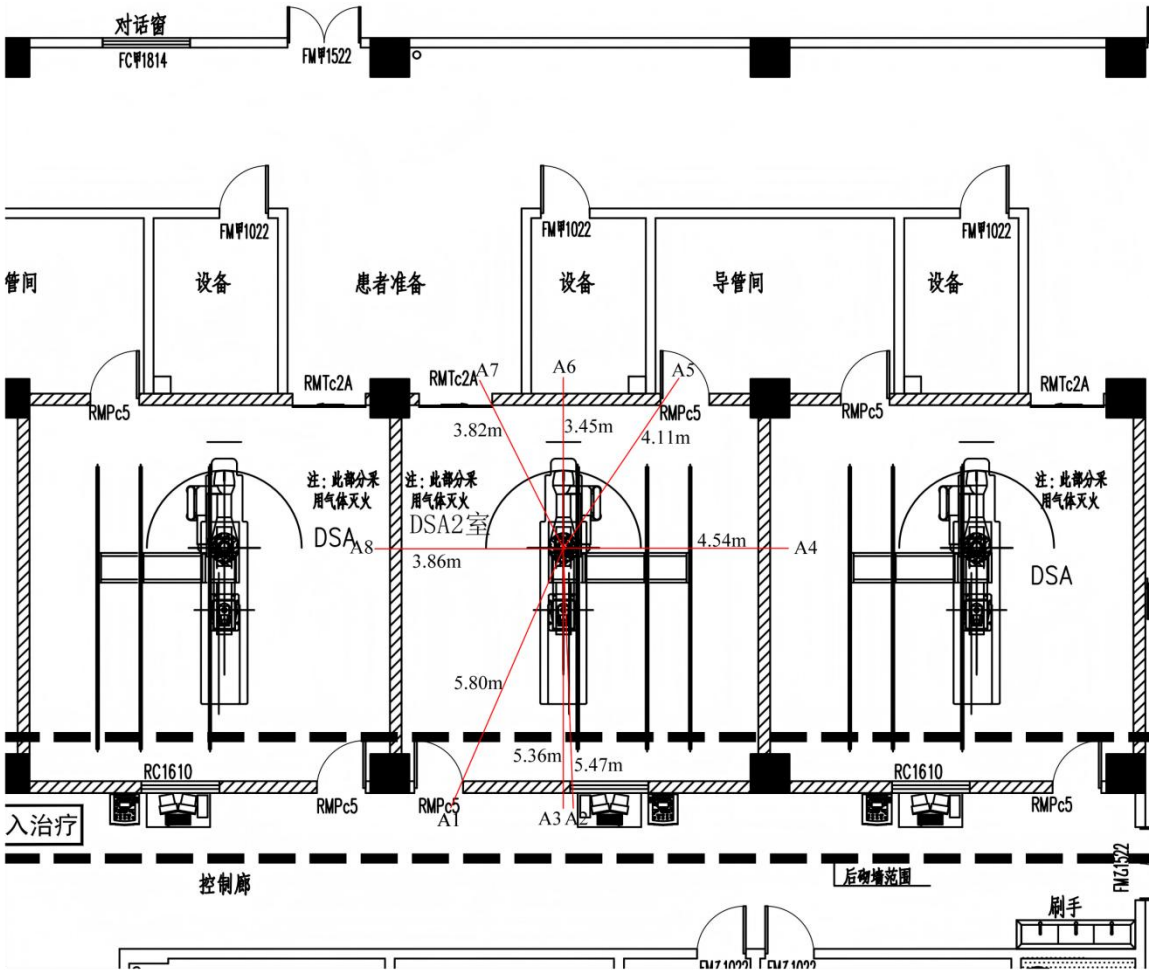


图 11-2　同心楼五楼介入中心 DSA2 室估算点位示意图

4.注射后患者周围辐射影响分析

（1）注射 ^{99m}Tc 后患者周围辐射影响分析

本项目患者注射 ^{99m}Tc 并穿戴 0.5mmPb 铅防护衣后，患者 1m 处的剂量率约为 148×0.0207/（$1^{1.5}\times10^{0.5/1}$）=0.97μSv/h。患者由辐射工作人员从同心楼五楼介入中心 DSA2 室送至负一楼核医学科 SPECT/CT 机房平均时间为 5min，每年 400 例患者，年护送时间为 5×400/60=33.33h，则护送人员年有效剂量=0.97μSv/h×33.33h/a =0.032mSv/a，公众居留因子取 1/8，则其年有效剂量为 0.004 mSv/a。因此，患者的转运过程不会对周围人员造成明显的辐射影响。

（2）注射 ^{90}Y 后患者周围辐射影响分析

本项目病人输注的 ^{90}Y 的最大活度为 2.5GBq，即 2500MBq，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021） 中要求的患者出院时体内 ^{90}Y 放射性核素活度要求

（≤2500MBq），因此病人可以不住院。为了满足临床管理需求，本项目患者一般住院1~2天。

^{90}Y的β射线在人体组织中的最大射程为11mm，患者体表基本检测不到β射线。患者周围主要考虑β射线被患者身体组织阻止时产生的韧致辐射。

参照《钇[^{90}Y]树脂微球介入治疗的放射防护评估》给出了使用剂量为2.1GBq的患者在注射后约5-6小时内距患者腹部以下不同距离处的辐射水平监测数据和使用剂量为3.0GBq的患者在注射后约0小时内距患者腹部以下不同距离处的辐射水平计算数据（详见表11-7），本项目最大使用剂量为2.5GBq，评价按保守原则参考使用剂量为3.0GBq的患者0h后不同距离处的辐射剂量率计算剂量率。

表11-7 距离^{90}Y患者腹部不同距离发射的韧致辐射剂量率

距离（m）	6h辐射剂量率μSv/h/2.1GBq	0h剂量率μSv/h/3.0GBq
0.25	18.8	28.7
0.5	9.2	14.0
1	1.5	2.3
2	0.4	0.6
4	＜0.1	0.1

从表11-7可知：患者注射3GBq药物后，距离患者1m处的辐射剂量率为2.3μSv/h，2m处辐射剂量率为0.6μSvh，4m处为本底水平。患者由辐射工作人员从同心楼五楼介入中心DSA2室送至负一楼核医学科SPECT/CT机房平均时间为5min，然后护送至住院楼二楼专用病房的时间为10min，即总的护送时间为15min，每年200例病人，年护送时间为15×200/60=50h，剂量率保守取表11-7中的3GBq的1m处辐射剂量率2.3μSv/h，则护送人员年有效剂量为2.3μSv/h×50h/a=0.115mSv/a。公众居留因子取1/8，则其年有效剂量为0.014mSv/a。因此，转运过程中，只要落实好患者个人防护的穿戴和临时控制区（患者1m处）的把控，基本不会对周边人群造成明显的辐射影响。

留观住院期间，医护人员一般通过专用病房内设置的视频对讲系统进行查房等医疗活动，如进入专用病房检查患者伤口、身体等工作，距离患者0.5m，每人平均10min，初始剂量保守取0.5m处为14.0μSv/h，年接诊病人200人，年受照时间为10×200/60=33.33h，经计算年有效剂量为14.0μSv/h×33.33h/a=0.47mSv/a，低于职业人员

剂量约束值 5mSv/a。

患者留观期间严禁公众进入专用病房，由于患者在专用病房内的位置并不固定，故根据专用病房周边环境（详见表 1-6 及图 1-12）其对病房外公众的影响保守按 2m 距离进行估算，初始剂量率取 0.6μSv/h。由于专用病房西北侧和楼上均为病房，楼下为大厅和药房，故公众居留因子按 1 计，东南侧为病房走廊、西北侧为二楼连廊，居留因子按 1/4 计；东南侧为室外悬空人员无法到达，不考虑公众附加剂量率。

本项目患者住院时间为 1～2 天，每间病房住院人数为 1 人，西北侧及楼上、楼下公众受照时间按最不利情况（最大住院时间按 1 个周，期间本项目 3 间病房均住有患者）取值为 144h，公众居留因子取 1，则在不考虑专用病房铅屏蔽效果的情况下，隔壁病房患者年有效剂量=0.6μSv/h×144h/a×1=0.086mSv/a；与此同时，东南侧病房走廊和西北侧连廊的公众附加剂量率=0.6μSv/h×144h/a×1/4=0.022mSv/a，低于公众附加剂量约束值 0.1mSv/a。即在不考虑 ^{90}Y 衰变及专用病房铅屏蔽作用的情况下，本项目患者住院期间对病房外周围公众的影响较小，故在专用病房设置有铅屏蔽和 ^{90}Y 存在衰变的情况下，患者住院留观期间基本不会对周边人群造成明显的辐射影响。

根据 H1188-2021 规定 ^{90}Y 治疗患者的出院标准为≤2500MBq，本项目患者最大用药量为 2.5GBq，即 2500MBq，输注药量均不大于出院限值。患者出院后，除需限制接触孕妇及 3 岁以下儿童家属外，其他家庭成员的受照剂量也不会超过剂量约束值。

本评价建议患者住院期间采取的管理措施如下：

（1）住院期间，患者仅在专用病房内活动，尽量不外出，如确需外出，则穿戴铅衣。

（2）陪护人员尽量不近距离接触患者，建议距离 1m 以上。在病房中合理利用铅衣进行防护。

（3）建议医护人员通过视频监控和对讲装置进行查房等医疗活动。必须进入专用病房时，穿戴铅衣等防护用品。

（4）为了将病人对其他人的影响减至最低，医院拟给予出院患者辐射防护书面指导：①一周内不要搭乘必须与邻座共坐两小时以上的交通工具（包括飞机）；②一周内不与伴侣共枕；③一周内避免与小孩或孕妇亲密接触；④一周内每次与他人的近距离接

触应不超过一小时，如果接触时间延长，建议与其他人保持 2m 以上的距离。

5.个人剂量估算

（1）原有项目个人剂量当量

本项目依托现有 10 名辐射工作人员。根据 2025 年个人剂量年度检测报告（监测周期：2025 年 1 月 1 日—2025 年 12 月 31 日，详见附件 15），本项目依托的 10 名辐射工作人员年度有效剂量见表 11-8。

表 11-8　依托辐射工作人员原有项目贡献年有效剂量一览表

序号	姓名	工作岗位	原有项目贡献年有效剂量（mSv/a）
1	王月慧	核医学医师	0.08
2	王子吟	核医学技师	0.08
3	陈丽萍	核医学护士	0.14
4	朱聪辉	介入放射医师	0.74
5	连小龙	介入放射医师	0.08
6	柯少迎	介入放射技师	0.08
7	范应鲁	介入放射护士	0.08
8	傅雅丽	介入放射护士	0.08
9	吴满珍	介入放射护士	0.09
10	王勇	物理师	0.18

（2）本项目个人剂量当量

本项目 ^{90}Y 药物个人计量估算主要考虑同心楼负一楼核医学科药物分装、转运和同心楼五楼介入 DSA2 室介入注射过程，以及注射后的病人转运、护理等过程。

①计算公式

本项目人员受到外照射所致的年有效剂量采用以下公式进行估算：

$$H_d = H \times t \times T \times 10^{-3} \qquad （式 11-7）$$

式中：

H_d—X、γ射线外照射人均有效剂量当量，mSv/a；

H—关注点处剂量率，μSv/h；

t—工作负荷，h/a；

T—居留因子。

②工作人员负荷

本项目 ^{99m}Tc 药物前期模拟每天最多 6 例患者，每年最多 400 例患者。^{90}Y 药物每

天最多 1 例患者，每年最多 100 例患者。^{99m}Tc 药物前期模拟与 ^{90}Y 药物治疗不在同一天进行。

^{90}Y、^{99m}Tc 药物在同心楼负一楼核医学科分装注射室进行药物抽取、活度测量时间均为 10min/人次。^{90}Y、^{99m}Tc 药物由同心楼负一楼核医学科转运至五楼 DSA2 室约 5min/次；在 DSA2 室 ^{90}Y 药物输注一例患者约 30min，^{99m}Tc 药物输注一例患者约 20min；SPECT/CT 扫描一例患者约 20min；^{90}Y、^{99m}Tc 患者由同心楼五楼 DSA2 室转移至负一楼核医学科 SPECT/CT 机房约 5min/次；^{90}Y 患者由同心楼负一楼核医学科 SPECT/CT 机房转移至住院楼二楼患者专用病房约 10min；住院病人护理约 10min/人。

^{90}Y、^{99m}Tc 药物转运均由核医学科同一名辐射工作人员负责，^{90}Y、^{99m}Tc 患者转运均由介入科同一名辐射工作人员负责，^{90}Y 和 ^{99m}Tc 输注均由两名介入科辐射工作人员分担负责，^{90}Y、^{99m}Tc 患者 SPECT/CT 扫描均由核医学科同一名辐射工作人员负责，每例 ^{90}Y 住院患者的护理工作均由介入科同一名辐射工作人员负责。

表 11-9　辐射工作人员受照射时间一览表

工作人员	操作方式	平均每次操作时间（min）	年操作次数（次）	年照射时间（h）
药物准备人员（核医学科医生、护士）	^{99m}Tc 药物分装、抽取与活度测量	10	400	66.67
	^{90}Y 药物抽取、活度测量	10	200	33.33
药物转运人员（核医学科护士）	^{99m}Tc 药物转运	5	400	33.33
	^{90}Y 药物转运	5	200	16.67
输注人员（介入科医生）	^{99m}Tc 药物注射	20	400	133.33
	^{90}Y 药物注射	30	200	100
SPECT/CT 扫描人员（核医学科技师）	^{99m}Tc 注射后患者扫描	20	400	133.33
	^{90}Y 注射后患者扫描	20	200	66.67
患者转运人员（介入科护士）	^{99m}Tc 患者转运	5	400	33.33
	^{90}Y 患者转运	15(5+10)	200	50
患者护理人员（介入科护士）	^{90}Y 住院患者	10	200	33.33

③计算参数

主要考虑分装操作、转运药物以及注射药物时的影响。

A.关注点处剂量率取值

关注点处剂量率根据表 11-2、表 11-6 进行取值。

B.受照时间：主要考虑药物准备、药物及患者转运、药物注射、注射后患者扫描检

查和患者护理等过程。

④计算结果

本项目操作放射性核素时辐射工作人员及周边公众个人剂量估算见表 11-10：

表 11-10 附加有效剂量估算结果一览表

阶段	对象		剂量率（μSv/h）	时间（h/a）	居留因子	年有效剂量（mSv/a）	约束值（mSv/a）
^{99m}Tc 前期模拟	职业人员	药物分装、抽取与活度测量	7.09	66.67	1	4.73E-01	5.0
		药物转运	4.98E-11	33.33	1	1.66E-12	
		第一术者位	4.83E+01	133.33	1	3.22E+00	
		第二术者位	4.34E+01	133.33	1	2.89E+00	
		患者转运	9.70E-01	33.33	1	3.23E-02	
		患者扫描检查	6.10E-01	133.33	1	8.13E-02	
	公众	DSA2 室楼下	1.52E-01	133.33	1/8	2.53E-03	0.1
		注射 ^{99m}Tc 后患者周围 1m 处	9.70E-01	33.33	1/8	4.04E-03	
^{90}Y 治疗	职业人员	药物抽取与活度测量	9.58E-00	33.33	1	3.19E-01	5.0
		药物转运（取转运装置外 30cm 处）	1.07E+01	16.67	1	1.78E-01	
		第一术者位	7.99E+00	100	1	4.00E-01	
		第二术者位	2.00E+00	100	1	1.00E-01	
		患者转运（取术后患者 1m 处）	2.30E+00	50	1	1.15E-01	
		患者扫描检查	1.79E-01	66.67	1	1.19E-02	
		患者护理（取术后患者 0.5m 处）	1.40E+01	33.33	1	4.67E-01	
	公众	分装注射室楼上	1.80E-03	33.33	1/4	1.50E-05	0.1
		SPECT/CT 机房楼上	3.25E-03	66.67	1/4	5.42E-05	
		DSA2 室楼下	4.50E-03	100	1/8	5.62E-05	
		患者周边 1m 处（患者转运）	2.3E+00	50	1/8	1.44E-02	
		专用病房外（相邻病房患者）	6.0E-01	144	1	8.64E-02	
		专用病房外（走廊公众）	6.0E-01	144	1/4	2.16E-02	
备注：本项目配备有 2 名介入科医生，介入注射操作中产生的辐射剂量由两名医生均摊。							

本项目操作放射性核素辐射工作人员剂量叠加估算结果见表 11-11：

表 11-11 本项目辐射工作人员叠加有效剂量估算结果一览表

工作人员	操作方式	单项操作贡献年有效剂量（mSv/a）	叠加年有效剂量（mSv/a）	约束值（mSv/a）
药物准备人员（核医学科医生、护士）	^{99m}Tc 药物分装、抽取与活度测量	4.73E-01	9.70E-01	5.0
	^{90}Y 药物抽取、活度测量	3.19E-01		
药物转运人员（核医学科护士）	^{99m}Tc 药物转运	1.66E-12		
	^{90}Y 药物转运	1.78E-01		
输注人员（介入科医生）	^{99m}Tc 药物注射	3.22E+00	3.62E+00	
	^{90}Y 药物注射	4.00E-01		
辅助输注人员（介入科护士）	^{99m}Tc 药物注射	2.89E+00	3.14E+00	
	^{90}Y 药物注射	1.00E-01		
患者转运人员（介入科护士）	^{99m}Tc 注射后患者转运	3.23E-02		
	^{90}Y 注射后患者转运	1.15E-01		
SPECT/CT 扫描人员（核医学科技师）	^{99m}Tc 注射后患者扫描	8.13E-02	9.32E-02	
	^{90}Y 注射后患者扫描	1.19E-02		
患者护理人员（介入科护士）	^{90}Y 注射后患者住院	4.67E-01	4.67E-01	

由表 11-10 和表 11-11 可知，本项目辐射工作人员最大职业照射的附加剂量为 3.62E+00mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 5mSv/a；职业人员手部剂量最大为 4.36E+01mSv/a，低于医院建立的职业人员四肢 125mSv/a 剂量管理目标值；本项目周边公众可能受到的照射附加剂量最大值为 8.64E-02mSv/a，低于本次评价设定的公众受照剂量管理目标值 0.1mSv/a。

（3）叠加现有项目个人剂量

根据表 11-11 分析结果，叠加辐射工作人员原有项目贡献年有效剂量后，本项目依托的辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-12。

表 11-12 叠加原有项目贡献值后辐射工作人员年有效剂量估算结果一览表

工作人员	操作方式	本项目贡献年有效剂量（mSv/a）		原项目贡献年有效剂量（mSv/a）	年有效剂量（mSv/a）	约束值（mSv/a）	是否满足要求
		单项	合计				
药物准备人员（核医学科医生、护士）	^{99m}Tc 药物分装、抽取与活度测量	4.73E-01	9.70E-01	1.40E-01	1.11E+00	5.0	满足
	^{90}Y 药物抽取、活度测量	3.19E-01					
药物转运人员（核医学科护士）	^{99m}Tc 药物转运	1.66E-12					
	^{90}Y 药物转运	1.78E-01					
输注人员（介入科医生）	^{99m}Tc 药物注射	3.22E+00	3.62E+00	7.40E-01	4.36E+00		满足
	^{90}Y 药物注射	4.00E-01					
辅助输注人员（介入科护士）	^{99m}Tc 药物注射	2.89E+00	3.14E+00	9.00E-02	3.23E+00		满足
	^{90}Y 药物注射	1.00E-01					
患者转运人员（介入科护士）	^{99m}Tc 注射后患者转运	3.23E-02					
	^{90}Y 注射后患者转运	1.15E-01					
SPECT/CT 扫描人员（核医学科技师）	^{99m}Tc 注射后患者扫描	8.13E-02	9.32E-02	8.00E-02	1.73E-01		满足
	^{90}Y 注射后患者扫描	1.19E-02					
患者护理人员（介入科护士）	^{90}Y 注射后患者住院	4.67E-01	4.67E-01	9.00E-02	5.57E-01		满足
备注：（1）原项目贡献年有效剂量按保守原则分别取核医学科和介入中心人员的最大值； （2）由于公众的流动性，不考虑公众的剂量率叠加。							

从表 11-12 看出，叠加原有项目贡献值后，本项目涉及的职业人员的最大职业照射附加剂量为 4.36mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 5mSv/a。

6.辐射环境影响分析小结

综上可得，本项目涉及的职业人员的最大职业照射附加剂量为 3.62mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 5mSv/a；职业人员手部剂量最大为 43.6mSv/a，低于医院建立的职业人员四肢 125mSv/a 剂量管理目标值；本项目周边公众可能受到的照射附加剂量最大值为 8.64E-02mSv/a，低于本次评价设定的公众受照剂量管理目标值 0.1mSv/a。叠加原有项目贡献值后，本项目涉及的职业人员的最大职业照射附加剂量为 4.36mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 5mSv/a。

本项目辐射工作场所屏蔽体外 30cm 处剂量率均低于 2.5μSv/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）控制值要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能发生的辐射事故

（1）由于管理不善，放射性药物、放射源被盗、丢失。

（2）核素转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

（3）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

（4）DSA 和 SPECT/CT 控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。

（5）药物及患者转运通道、电梯在进行药物转运、患者治疗后转运及放射性废物转运时对公众人员防护不到位，药物转运时意外泄漏，患者呕吐等造成电梯、地面、门造成辐射污染。

11.3.2 事故预防措施

（1）制定并落实放射性核素管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

（2）制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

（3）加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确了解需配备的防护用品及存放位置。

（4）加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。核医学工作场所设置监控，进出口设置控制门，防止无关人员进入。

（5）放射性固体废物衰变暂存箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

（6）辐射工作人员在岗操作前，佩戴个人剂量计，对病人非检查部分采用防护用品（防护铅衣、铅帽和铅围脖）保护。

（7）定期开展个人剂量监测和职业健康体检，妥善保管个人剂量和职业健康体检结果，出现异常情况时，分析原因，并采取相应措施，可有效降低辐射对人员身体造成的危害。

（8）做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

（9）制定并严格落实时空管理制度，确保药物及患者转运通道、电梯在进行药物转运、患者治疗后转运及放射性废物转运时保持通畅并无无关人员靠近。

11.3.3 事故处理措施

若在操作或药物/患者转运期间发生事故时，医院拟采取以下应急处理措施：

（一）现场紧急管控

（1）立即停止相关操作，并通知应急管理组织。

（2）立即封闭污染区域，设置电离辐射警示标志，拉警戒线。严禁无关人员进入、穿行，阻断污染扩散路径。

（3）已进入污染区域的人员原地停留，禁止随意走动、脱换衣服、饮食饮水等。安排专人值守，记录涉事人员、停留位置等信息。

（4）禁止污染区域内拖地、冲洗等操作，防止微球随气流、扬尘扩散产生二次污染。

（5）用β表面污染仪快速划定污染边界，标记高污染区。

（二）人员应急去污

（1）穿戴个人防护用品后引导人员至专用去污区，用温水和中性肥皂，轻柔单向擦拭，反复 2～3 次。

（2）清洗后使用表面污染仪进行检测，直至污染水平降至本底。

（3）全程避免污水飞溅，清洗废水单独收集，按放射性废液进行处理。

（4）受污染衣物原地缓慢脱下，由外向内卷裹，装入双层放射性废物专用袋，密封、张贴标签（注明：^{90}Y 污染时间、地点）。禁止抖动、拍打衣物，防止微球扬尘。

（三）场所去污处理

（1）穿戴个人防护用品，用粘性胶带、无尘粘布粘贴吸附散落微球，禁止使用扫帚、吸尘器。

（2）用专用放射性去污剂浸湿抹布/吸水垫，分区擦拭污染区域，每擦拭一块区域更换一次擦拭物。

（3）所有粘布、抹布、胶带、耗材全部归入放射性固体废物袋，分类密封、标识，按医院放射性废物管理规定转运暂存。

（4）去污完成后，用表面污染仪逐点检测，多点位复测合格后方可解除区域封锁。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：“使用 I 类、II类、III类放射源，使用 I 类、II类射线装置的，应当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”。医院目前设立有专门的辐射安全与环境保护管理机构，同时有一名人员（王勇）兼职负责辐射安全与环境保护管理工作，可以满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。本项目开展后，医院的管理人员也能满足配置要求。

目前，医院已成立了辐射安全与环境保护管理委员会对辐射防护相关工作进行控制和管理，辐射安全与环境保护管理委员会具体组成见下表：

表 12-1 辐射安全与环境保护管理委员会成员一览表

序号	职务		人员
1	管理委员会	主任委员	黄
		副主任委员	王　、张
		委员	曾　、郭　、朱　、吴　、林　、林　、吴　、王　、林　、陈　、陈　、苏　、沈　、范　、潘　、陈　、惠　、郭　、林　、连　、王　、王　、王
		秘书	王　、王

医院设置的辐射安全与环境保护管理委员会职责包括：（1）全面负责医院辐射安全与环境保护工作的领导、决策、协调与监督；（2）组织制定、修订和完善医院辐射安全与防护管理制度、操作规程、应急预案等，并监督其贯彻执行；（3）定期审查医院辐射安全工作状况，评估辐射风险，研究解决辐射安全管理中存在的重大问题；（4）负责对医院新建、改建、扩建放射诊疗项目进行辐射安全和防护设施“三同时”审查，确保符合国家规定；（5）组织对全院放射工作人员进行辐射安全与防护知识、法规的培训、考核和健康管理；（6）监督、指导放射诊疗设备的质量控制检测、工作场所及周围环境的辐射水平监测；（7）负责组织辐射事故（事件）的调查、处理和报告工作；（8）建立并管理医院辐射安全管理档案；（9）负责与上级环保、卫生行政部门就辐射安全相关事宜进行沟通与协调。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：“从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核”。本项目辐

射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员均已参加了辐射安全和防护知识培训并通过考试。取得培训合格证的人员，医院应每 5 年组织一次复训。

12.2 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》（国务院令第 449 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）中的有关要求，使用射线装置、放射性同位素的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、设备台账登记制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急方案；产生放射性废气、废液固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放可行的处理方案；使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。

建立、健全和严格执行辐射安全管理的规章制度是防止潜在照射发生的重要措施。为保障射线装置正常运行时周围环境的安全，确保公众、操作人员避免遭受意外照射和潜在照射，医院已制定了《辐射事故应急预案》、《个人剂量监测、辐射环境监测方案》、《放射性药品管理制度》、《放射工作人员职业健康管理方案》、《放射诊疗设备安全操作规程》、《设备维修维护保养工作制度》、《辐射安全许可证管理制度》、《射线装置设备使用登记制度》、《放射源使用登记使用管理制度》、《放射诊断质量保证大纲和质量控制检测计划》、《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作人员培训计划》等制度。同时按照相关要求在工作场所粘贴上墙，医院还应根据相关条例、办法以及本报告的要求对制度的内容进行补充，在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性，并加强对核技术利用项目的日常管理：

（1）根据医院的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对核技术利用装置的安全防护和维修要落实到个人；在执行各项制度时，要明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

（2）明确操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，重点是工作前的安全检查工作，工作人员佩戴个人剂量计，避免事故发生。

（3）加强对辐射工作场所的安全和防护状况的日常检查，发现安全隐患应当立即整改；安全隐患有可能威胁人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业，安全隐患消除后，方可恢复正常作业。

（4）为确保放射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，医院应对本项目的辐射装置的安全和防护状况进行年度评估，并每年向发证机关提交上一年度的评估报告。

（5）医院应在今后工作中，不断总结经验，根据实际情况，对各项制度加以完善和补充，并确保各项制度的落实。应根据环境保护管理部门对辐射环境管理的要求对相关内容进行补充和修改。如针对本项目新增核素，应增加专项操作规程等制度：

①制定时空管理制度：严格控制药物及患者转运通道、电梯在进行药物转运、患者治疗后转运及放射性废物转运时间，确保转运道路通畅并无无关人员靠近。

②制定钇[^{90}Y]微球介入治疗手术应急处理措施：针对术前、术中、术后可能发生的事故进行风险分析，确定风险等级，配备相应的去污及防护用品，明确事故处置流程。

③制定钇[^{90}Y]微球介入治疗手术操作规程：明确操作人员资质，操作流程，明确术前准备、术中辐射防护及术后管理要求等，避免发生不必要的辐射。

12.3 辐射监测

为了及时掌握项目周围的辐射水平，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的要求，应建立必要的监测计划，包括设备运行期及个人剂量监测计划，要建立监测资料档案。

（1）工作场所和周围环境监测

监测项目：X-γ空气吸收剂量率、β表面污染

监测频次：①每年委托有资质的单位监测一次，平时每个季度自主监测一次；②核医学科以及辐射工作人员在核素操作完成后需做表面污染监测，应急状况随时监测；③每次手术完成后进行手术室表面污染监测。

监测点位：①X-γ空气吸收剂量率：核医学科、DSA2 室、专用病房等场所屏蔽体外

30cm 处，以及人员经常驻留的位置；②β表面污染：医生工作服表面、工作台表面、工作场所及专用病房地面、墙面、门、相关容器表面。

（2）个人监测

医院需对辐射工作人员开展个人剂量监测，监测工作要委托具有相应资质的放射防护技术服务机构承担，常规个人剂量监测的周期应综合考虑工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素，常规监测周期一般为 30 天，最长不得超过 90 天，医院需配合委托单位及时收发个人剂量卡。个人剂量监测档案包括辐射工作人员姓名、性别、起始工作时间、监测年份、职业类别、每周期受照剂量、年有效剂量、多年累积有效剂量等内容。

表 12-2 监测计划要求一览表

监测项目	监测内容	监测频次
个人剂量	X-γ外照射剂量	每个季度一次
周围环境	X-γ周围剂量当量率	每年委托检测 1 次，每个季度自主监测一次
工作场所、工作台表面、医生工作服表面、转运通道及转运电梯	β表面污染	每年委托监测 1 次，核素操作完成后需自主进行一次表面污染监测，转运通道及电梯在转运期间若出现患者呕吐等，应在清洁后进行一次表面污染监测。
放射性固体废物	废物包装外表面	处理前

12.4 辐射工作人员管理

（1）辐射工作人员上岗前应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；项目运行后医院还应当组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，医院应当对其进行离岗前的职业健康检查。

（2）放射工作单位对职业健康检查中发现不宜继续从事放射工作的人员，应当及时调离放射工作岗位，并妥善安置；对需要复查和医学随访观察的辐射工作人员，应当及时予以安排。

（3）对参加应急处理或者受到事故照射的辐射工作人员，医院应当及时组织健康检查或者医疗救治，按照国家有关标准进行医学随访观察。

（4）辐射工作人员上岗前应当接受放射防护和有关法律知识培训，考核合格方可参加相应的工作。医院应当定期组织本单位的辐射工作人员接受放射防护和有关法律知

识培训。医院应当建立并按照规定的期限妥善保存培训档案。培训档案应当包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等资料。

（5）辐射工作人员进入放射工作场所，应正确佩戴个人剂量计。

（6）医院不得安排怀孕的妇女参与应急处理和有可能造成职业性内照射的工作。哺乳期妇女在其哺乳期间应避免接受职业性内照射。

（7）加强对放射性工作人员个人剂量档案、个人健康档案的保管，要求终身保存，放射性工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。医院还应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，同时应建立并终身保存个人剂量监测档案，以备辐射工作人员查看和管理部门检查。辐射工作人员有权查阅、复印本人的职业健康监护档案。放射工作单位应当如实、无偿提供。

12.5 个人剂量超标处置上报程序

医院应将各季度发送的个人剂量计定期（最长不得超过 3 个月）送往有资质的单位进行检测。如果在单个季度出现个人剂量超过 1.25mSv 时，医院需进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并经当事人签字。年剂量超过 5mSv 的管理限值时，医院应暂停该辐射工作人员继续从事放射工作，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，经当事人签字，并上报当地生态环境主管部门。年剂量超过 20mSv 标准时，构成辐射事故，医院立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射安全与环境保护管理领导小组上报当地生态环境主管部门。检测报告及有关调查报告应存档备查。

12.6 辐射事故应急

为建立健全辐射事故应急机制，及时处置突发辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地减少辐射事故及其可能造成的人员伤害和财产损失，医院已制定了《辐射事故应急预案》：

（1）医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》等法规的有关规定，开展辐射事故预防与应急处置。

（2）医院对其辐射活动中辐射事故的应急准备与响应负首要责任，必须遵照国家和地方政府有关规定，依据所操作的射线装置以及潜在事故的特性和可能后果，考虑制定辐射事故应急计划或应急程序，并按规定报当地政府有关部门审查批准或备案。

（3）发生辐射事故时，医院将立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

（4）医院将切实执行并落实辐射安全管理规章制度，加强实体保卫，切实有效地防止辐射事故（件）的发生。主要履行以下职责：

① 全面负责本单位辐射环境和人员安全的管理；

② 负责编制和修订本单位辐射突发环境事件应急预案；

③ 加强辐射应急队伍建设，购置必要的辐射应急装备器材；

④ 负责本单位辐射工作场所和环境的应急监测；

⑤ 负责本单位辐射突发环境事件的紧急处置和信息报告；

⑥ 对可能造成超剂量照射的人员送到指定医院进行救治；

⑦ 负责本单位辐射突发环境事件恢复重建工作，并承担相应的处置经费；

⑧ 积极配合行政主管部门的调查处理和定性定级工作；

⑨ 负责组织本单位辐射突发环境事件相关应急知识和应急预案的培训，在环境保护行政主管部门的指导下或自行组织演练。

（5）各类事故报警和联系方式

一般报告程序为：发现者报告给医院辐射事故应急管理机构，由其向市生态环境局、市公安局，并同时向省生态环境厅报告，设备被损应同时向公安机关报告，造成人员受到超剂量照射应同时向卫生健康部门报告。

（6）医院应针对本项目制定相应的应急措施，对钇[^{90}Y]微球介入治疗手术全过程可能发生的事故进行分析并制定对应的应急处置措施。

12.7 环境保护竣工验收

本项目环保竣工验收要求见表 12-3。

表 12-3 环境保护竣工验收一览表

序号	验收内容	验收要求	要求
1	环保文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具验收监测报告。	检查落实情况
2	辐射安全防护措施	①辐射工作场所屏蔽防护按环评报告表中表 10-3 的要求落实到位；②辐射工作场所分区管理；③项目产生的放射性固体废物收集后，置于专用衰变箱内，衰变达到清洁解控水平后按医疗废物处置；④辐射工作场所设置电离辐射警告标识及中文说明；⑤药物及患者转运路线安全防护措施及时空管理制度。	检查辐射防护措施落实情况和监测结果达标情况，监测结果满足 GBZ120-2020、GBZ130-2020 和 HJ 1188-2021 要求
3	环境管理制度、应急措施	成立专门的辐射领导机构，制定相应的规章制度和事故应急预案，具有可操作性。制定有相应的操作规程。	有专门的辐射领导机构，制定并落实各项制度，有关制度上墙
4	辐射工作人员管理	①本项目辐射工作人员应具备相应的岗位技能；②医院应每季度对工作人员进行个人剂量监测，每 2 年进行职业健康检查，并将资料存档管理；③管理人员和辐射工作人员参加辐射安全知识培训，5 年进行一次复训。	人员按要求配备到位，并按照相应法律法规及标准要求进行职业健康检查、辐射安全与防护知识培训考核，开展个人剂量监测。
5	监测仪器和防护用品	防护监测设备和防护用品按报告表中表 10- 4、表 10- 5、表 10- 6 中要求落实。	检查落实情况。
6	辐射监测	①每年对工作场所周围环境进行常规监测，有资质单位出具的年度评估报告。②配备相应的自检设备，定时进行自检。	检查落实情况。
7	放射性三废处置	放射性三废处置得到合规处理处置。	检查落实情况。

表 13 结论与建议

13.1 结论

（一）辐射安全与防护综合结论

1.项目概况

为拓展医院业务范围，提高医院医疗服务水平，更好地满足人民群众的医疗服务需求，泉州市第一医院拟开展 Y-90 树脂微球治疗项目，用于肝癌的选择性内放射治疗。该项目建设地点位于城东院区同心楼负一楼核医学科（存储、抽取）、城东院区同心楼五楼介入 DSA2 室（注射）、城东院区住院楼二楼专用病房（留观），建设内容为在同心楼负一楼核医学科新增使用 ^{90}Y 以及增加 ^{99m}Tc 使用量，工作场所等级不变，仍为乙级非密封放射性工作场所；在同心楼五楼介入 DSA2 室新增使用 ^{90}Y、^{99m}Tc，为一处新增乙级非密封放射性工作场所；在住院楼二楼改造三间专用病房。项目 ^{90}Y 树脂微球手术每天最多治疗 3 例患者，每年最多治疗 200 例。

2.本项目与现有项目的依托关系

本项目依托现有核医学科进行 ^{90}Y 药物的接收、抽取和活度测量工作，相关操作人员为核医学科现有工作人员。本项目依托医院现有 DSA2 室进行 ^{90}Y 树脂微球治疗手术，手术人员为介入科现有工作人员。

本项目所依托的核医学科 SPECT/CT 工作场所及 DSA2 室核技术利用项目环境影响报告表已于 2019 年 12 月取得了福建省生态环境厅出具的环评批复（闽环辐评〔2019〕53 号），核医学科 SPECT/CT 工作场所已于 2024 年 5 月通过了自主竣工环境保护验收，DSA2 室也于 2024 年 12 月通过了自主竣工环境保护验收。

3.实践正当性分析

本项目核医学科和介入科使用 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 用于肝癌肿瘤治疗。^{90}Y 树脂微球治疗项目有利于提高医院的治疗水平，具有良好的社会效益和经济效益。根据本报告分析，在采取相应辐射安全防护措施的情况下，运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，因此本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

3.产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于“鼓励类”中“六、核能”中的“4. 核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，“第十三项、医药”中“4. 高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”。因此，本项目属于国家鼓励类产业，项目建设符合国家产业政策。

4.选址可行性分析

项目依托现有核医学科和 DSA 机房进行，医院核医学科位于同心楼负一楼，位置相对独立且封闭，人流较少，并设置了单独的人员、物流通道；DSA2 室远离周围环境敏感点，有利于辐射防护，对周围环境影响小，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。现有核医学科和 DSA2 室均不与产科、儿科、食堂等部门毗邻，并避开了医院人员密集区。其选址与布局满足“诊治工作要求、有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰”的原则，从环境保护角度分析，项目选址可行

5.布局合理性分析

本项目平面布局便于工作人员及病人的辐射防护工作及就医流程的简化，对控制区、监督区布置进行了设计，医生、病人出入口明显分开，布局较为合理，能较好地满足乙级非密封放射性物质工作场所布局要求。从环境保护角度分析，医院辐射工作场所布局可行。

6.环境影响分析结论

本项目涉及的职业人员的最大职业照射附加剂量为 3.62mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 5mSv/a；本项目周边公众可能受到的照射附加剂量最大值为 8.64E-02mSv/a，低于本次评价设定的公众受照剂量管理目标值 0.1mSv/a。

叠加原有项目贡献值后，本项目涉及的职业人员的最大职业照射附加剂量为 4.36mSv/a，低于本评价设定的职业人员受照剂量约束值 5mSv/a。

本项目辐射工作场所屏蔽体外 30cm 处剂量率低于 2.5μSv/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）控制值要求。

医院成立了辐射安全与环境保护管理机构，制定了相关的辐射安全制度、辐射事故应急预案、安全操作规程等相应的制度和规程，基本能满足日常工作要求。本项目建成运行后，医院应按报告表中提出的要求增加个人防护用品以满足辐射工作需要。应对所有辐射工作人员进行个人剂量监测、职业健康体检和防护知识培训，并建立相应的档案。

综上所述，本项目在落实本报告提出的各项污染防治、辐射安全防护措施和辐射安全管理制度后，运营期对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，对辐射工作人员及周围公众造成的影响满足国家法律法规及标准的要求。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，该项目的建设是可行的。

13.2 建议和要求

（1）环境影响评价文件审批完成后，应根据有关规定及时重新申领《辐射安全许可证》。项目投入使用后，医院应按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》完成环保竣工验收工作。

（2）建设单位应根据本项目实际情况制定完善各项管理制度和操作规程，如：《Y-90 工作场所监测计划》、《Y-90 核素治疗管理制度》、《Y-90 树脂微球工作流程管理制度》、《Y-90 药物及注射后患者转运管理制度》、《Y-90 患者出入院和住院管理制度》、《Y-90 树脂微球治疗放射性废物及患者排泄物转运管理制度》等。

（3）建议建设单位在本项目运行前组织开展一次相关的辐射事故应急演练，以保障在该项目运营过程中能更好的应对突发事故。

（4）医院应按照本报告表内容配备本项目必要的防护用品，加强对工作人员的辐射防护。医院应加强管理，确保各防护用品能正常使用。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：   公　章 经办人　　年　　月　　日
审批意见：   公　章 经办人　　年　　月　　日