

编号：ZFHK-FB22220101

核技术利用建设项目

复旦大学附属中山医院厦门医院钷-90微球

治疗项目环境影响报告表

(公示稿)



复旦大学附属中山医院厦门医院

2026年6月

## 核技术利用建设项目

# 复旦大学附属中山医院厦门医院钇-90微球 治疗项目环境影响报告表 (公示稿)

建设单位名称：复旦大学附属中山医院厦门医院

建设单位法人代表（签名或签章）：苏成豪

通讯地址：福建省厦门市湖里区金湖路 668 号

邮政编码：361015

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

## 目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	20
表 3 非密封放射性物质.....	21
表 4 射线装置.....	22
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	23
表 6 评价依据.....	24
表 7 保护目标与评价标准.....	27
表 8 环境质量和辐射现状.....	36
表 9 项目工程分析与源项.....	42
表 10 辐射安全与防护.....	54
表 11 环境影响分析.....	74
表 12 辐射安全管理.....	92
表 13 结论与建议.....	100
表 14 审批.....	104
附图 1 1 号楼地下一层核医学科核素治疗区域平面图.....	105
附图 2 2 号楼三层平面图.....	106
附图 3 2 号楼三层平面图（局部放大）.....	107
附图 4 2 号楼二层平面图.....	108
附图 5 2 号楼四层平面图.....	109
附图 6 1 号楼八层平面图.....	110

## 表 1 项目基本情况

建设项目名称		复旦大学附属中山医院厦门医院钷-90 微球治疗项目			
建设单位		复旦大学附属中山医院厦门医院			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		福建省厦门市湖里区金湖路 668 号			
项目建设地点		复旦大学附属中山医院厦门医院院区内 1 号楼负一层核医学科、八层原 37~38 床病房和 2 号楼三层介入手术室 DSA5			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		项目环保投资 (万元)		投资比例 (环保投资/总投资)	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m <sup>2</sup> )	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
其他	/				
<h3>1.1 项目概述</h3> <h4>1.1.1 建设单位概况</h4> <p>复旦大学附属中山医院厦门医院 (以下简称“医院”) 是复旦大学和厦门市人民政府合作建设的一项重大民生工程项目, 是厦门市委、市政府为补齐厦门市医疗短板、解决市民疾病就医需求而建设的一家医院。医院由厦门市人民政府全额投资, 位于中国福建省厦门市湖里区金湖路 668 号, 占地面积 6.22 公顷, 总建筑面积约 17.5 万平方米, 是一所由复旦大学附属中山医院全面运营管理的高水平公立综合性三级医院。</p> <p>医院以“大专科、小综合”为发展特色, 依托上海总部复旦中山医院 18 个</p>					

国家级重点专科，突出的重点优势专科包括心内科、心外科、肝肿瘤内科、普外科、内镜中心、胸外科、血管外科、呼吸内科、肾病科、消化科等。同时，医院致力于打造疑难重症诊治中心，与厦门市现有医疗机构错位发展。医院已开放约40个临床及医技科室，同时拥有樊嘉、葛均波2个院士工作站和12个名医工作室，高难度手术总占比超60%，不断问鼎“塔尖”技术，获得了厦门及周边地区患者的认可与好评。医院设立了三大技术平台：综合内镜手术治疗平台、综合介入手术治疗平台、危急重症平台。建立了两大专科平台：消化疾病专科平台、泛血管专科平台。医院还将总部先进成熟的MDT模式带到厦门，借助远程会诊系统开通了沪厦两地多学科综合诊疗服务（MDT），提升了疑难重症救治水平。

本项目位于复旦大学附属中山医院厦门医院内，复旦大学附属中山医院厦门医院的建设项目（非电离辐射内容）主体工程环评已取得原厦门市环境保护局审批同意，批复文号为厦环评〔2015〕55号，审批通过了项目环境影响评价报告书，其评价内容包含除电离辐射以外的建设内容。

### 1.1.2 建设规模

为提升建设单位核医学科临床技术和科研学术水平、为广大的患者提供更高质量的医疗服务，满足肿瘤患者治疗需求，建设单位于复旦大学附属中山医院厦门医院开展钇-90（<sup>90</sup>Y）微球治疗项目，主要用于不可手术切除的晚期肝癌、结直肠癌肝转移等肝脏恶性肿瘤的治疗。<sup>90</sup>Y微球治疗项目主要流程：先使用DSA机在介入条件下给患者输注<sup>99m</sup>Tc核素，然后使用核医学科SPECT/CT机进行显像扫描，判断患者是否适合开展<sup>90</sup>Y微球治疗；1-2周后对患者开展<sup>90</sup>Y介入输注，借助DSA机血管造影技术将<sup>90</sup>Y通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，然后使用核医学科SPECT/CT机进行显像扫描，对治疗区域进行剂量学评估。

#### 一、依托工程内容：

##### （一）1号楼（原医疗A栋楼）负一楼核医学科

钇<sup>90</sup>Y微球治疗项目依托1号楼负一层核医学科SPECT/CT区域进行含<sup>90</sup>Y核素药物和含<sup>99m</sup>Tc核素药物的分装、抽取、活度测量、贮存、注药后患者SPECT显像扫描以及放射性固体废物暂存等活动；依托SPECT显像衰变池暂存介入手术室5含放射性废液。涉及利旧设备为1台Symbia Intevo 16型SPECT/CT，最大管电压为130kV，最大管电流为345mA，为III类射线装置。

本项目使用  $^{99m}\text{Tc}$  核素的日等效最大操作量为  $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 。1 号楼负一层核医学科 SPECT/CT 区域已许可使用  $^{99m}\text{Tc}$  核素的日等效最大操作量为  $4.63 \times 10^7 \text{Bq}$ ，满足本项目钇  $^{90}\text{Y}$  微球治疗项目需求 ( $4.63 \times 10^7 \text{Bq} > 1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ )，1 号楼负一层核医学科 SPECT/CT 区域不再新增  $^{99m}\text{Tc}$  核素的日等效最大操作量。本项目实施后，不增加核医学科场所使用  $^{99m}\text{Tc}$  核素的数量，SPECT/CT 检查工作量不增加，该场所  $^{99m}\text{Tc}$  核素的日等效最大操作量不变

医院 1 号楼负一层核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，已履行环境影响评价手续并取得批复文件（闽环辐评〔2018〕6 号），于 2022 年 5 月完成竣工环境保护验收手续（见附件 3）。

表 1-1 医院 1 号楼负一楼核医学科部分已许可非密封放射性物质一览表

序号	工作场所	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	环评	验收	活动种类
1	1 号楼负一楼核医学科 SPECT 区域工作场所	乙级	$^{99m}\text{Tc}$	$4.63 \times 10^7$	$1.15 \times 10^{10}$	闽环辐评〔2018〕6 号	已验收	使用

## （二）2 号楼三层介入手术室 DSA5 Lnnova IGS 5 型 DSA 机

2 号楼三层介入手术室 DSA5 使用 1 台 Lnnova IGS 5 型 DSA 机，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA，为 II 类射线装置，Lnnova IGS 5 型 DSA 机已履行环境影响评价手续并取得批复文件（闽环辐评〔2018〕6 号），于 2024 年 12 月完成竣工环境保护验收手续（见附件 3）。

### 二、本项目建设内容：

#### （一）1 号楼负一楼核医学科

钇  $^{90}\text{Y}$  微球治疗项目使用的  $^{99m}\text{Tc}$  核素需在 1 号楼负一层核医学科储存、分装、活度测量，在 2 号楼三层介入手术室 DSA5 注射  $^{99m}\text{Tc}$  核素后需在 1 号楼负一层核医学科 SPECT/CT 扫描检查，评估患者是否适合进行  $^{90}\text{Y}$  微球治疗。

$^{90}\text{Y}$  微球治疗项目使用的  $^{90}\text{Y}$  核素需在 1 号楼负一层核医学科储存、抽取、活度测量，在 2 号楼三层介入手术室 DSA5 注射  $^{90}\text{Y}$  核素后需在 1 号楼负一层核医学科 SPECT/CT 扫描检查，观察微球分布情况。

本项目使用  $^{99m}\text{Tc}$  核素每天最大诊断患者数 1 人，每周最大诊断患者数 3 人，每年工作 50 周，每年最大诊断患者数 120 人。单个病人  $^{99m}\text{Tc}$  核素最大用量为

1.85×10<sup>8</sup>Bq。

本项目使用 <sup>90</sup>Y 核素每天最大治疗患者数 1 人，每周最大治疗患者数 2 人，每年工作 50 周，每年最大治疗患者数 60 人。单个病人 <sup>90</sup>Y 核素最大用量为 3.0×10<sup>9</sup>Bq。本项目医技楼 1 号楼负一层核医学科核素使用情况一览表见表 1-2。

表 1-2 本项目放射性核素使用种类及使用量一览表

序号	核素名称	半衰期	毒性	单人最大用药量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	日最大门诊量	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	备注
1	<sup>90</sup> Y 微球	2.67h	悬浮液，中毒	3.0×10 <sup>9</sup>	3.0×10 <sup>7</sup>	1 人	3.0×10 <sup>9</sup>	1.8×10 <sup>11</sup>	新增
2	<sup>99m</sup> Tc	6.02h	液态，低毒	1.85×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>5</sup>	1 人	1.85×10 <sup>8</sup>	2.22×10 <sup>10</sup>	利旧

注：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）：可将医疗机构 <sup>90</sup>Y 核素介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单的操作”。<sup>90</sup>Y、<sup>99m</sup>Tc 的操作方式修正因子取 10（很简单的操作）。<sup>90</sup>Y 和 <sup>99m</sup>Tc 不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。

本项目 1 号楼负一层核医学科现有核素日等效最大操作量为 3.79×10<sup>9</sup>Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。本项目运行后，核医学科增加 <sup>90</sup>Y 核素和 <sup>99m</sup>Tc 核素用量后核素日等效最大操作量为 3.82×10<sup>9</sup>Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）核医学科仍为乙级非密封放射性物质工作场所；属于在已许可场所增加不超过已许可活动种类和不高于已许可范围登记的核素，根据“关于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函（环办函〔2015〕1758 号）”的要求，本次评价范围仅对涉及 <sup>90</sup>Y 微球治疗项目的核医学工作场所进行分析。

本项目 <sup>90</sup>Y 微球治疗项目涉及药物在 1 号楼负一层核医学科储源室暂存、在分装配药室通风柜进行活度测量和分装，注射药物后患者在 SPECT/CT 机房扫描，放射性废物在核医学科固废间暂存。

## （二）2 号楼三层介入手术室 DSA5 乙级非密封放射性物质工作场所

DSA 机房拟使用 <sup>90</sup>Y 和 <sup>99m</sup>Tc 两种核素，核素经工作人员从 1 号楼负一层核医学科运送至 2 号楼三层介入手术室 DSA5。本项目使用 <sup>99m</sup>Tc 核素每天最大诊断患者数 1 人，每周最大诊断患者数 3 人，每年工作 50 周，每年最大诊断患者数 120 人。本项目使用 <sup>90</sup>Y 核素每天最大治疗患者数 1 人，每周最大治疗患者数 2 人，每年工作 50 周，每年最大治疗患者数 60 人。

本项目 2 号楼三层介入手术室 DSA5 核素使用情况一览表见表 1-3。

表 1-3 2 号楼三层介入手术室 DSA5 核素使用情况一览表

核素名称	单人最大用药量 (Bq)	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	工作场所	操作方式	场所等级
$^{90}\text{Y}$	$3.0 \times 10^9$	$3.0 \times 10^9$	$3.0 \times 10^7$	$1.8 \times 10^{11}$	2 号楼三层介入手术室 DSA5	介入注射	乙级
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85 \times 10^8$	$1.85 \times 10^8$	$1.85 \times 10^5$	$2.22 \times 10^{10}$		介入注射	

注： $^{90}\text{Y}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。

### (三) 2 号楼三层介入手术室 DSA5 西侧缓冲间

为满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 第 5.2.3 条“控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染设备”。本项目拟于 2 号楼三层介入手术室 DSA5 西侧设置缓冲间，缓冲间不进行放射性核素操作，按监督区进行管理。

### (四) 1 号楼八层原 37~38 床病房 ( $^{90}\text{Y}$ 患者专用病房)

医院因考虑临床需求，即输注  $^{90}\text{Y}$  的患者需住院观察，因此将 1 号楼八层原 37~38 床病房设为本项目  $^{90}\text{Y}$  患者专用病房，位于走廊西端，为双人间病房，为保障  $^{90}\text{Y}$  患者专用病房周围公众的辐射安全，本项目  $^{90}\text{Y}$  患者专用病房按控制区进行管理。

本项目患者输注的  $^{90}\text{Y}$  微球核素最大活度为 3GBq，根据生态环境部核与辐射安全中心开展的  $^{90}\text{Y}$  微球治疗项目使用过程的辐射安全风险研究，并发布了《钇-90 微球使用过程辐射安全风险》报告，由该报告 P23 页可知，距离输注了 3GBq 钇-90 微球的患者 5-6 小时后 1m 处辐射剂量率为 2.14 $\mu\text{Sv/h}$ 。

综上所述，本项目拟在原已通过审批的一个乙级非密封放射性物质工作场所新增使用  $^{90}\text{Y}$  放射性药物，并新增使用一个乙级非密封放射性物质工作场所。

#### 1.1.3 项目定员及年工作时间

本项目涉及的科室为建设单位核医学科及介入科，建设单位已开展核医学及介入放射学工作多年，现拟从现有科室放射工作人员中抽调 22 名放射工作人员参与本项目工作，医院现有辐射工作人员数量满足本项目人员配备要求。

辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

## 1.2 任务由来和评价目标

### 1.2.1 任务由来

本项目报告表编制前，根据医院的医疗计划，确定了拟新增核素种类及操作量。因此，本环评报告表辐射环境影响评价内容包括：乙级非密封放射性物质工作场所，涉及使用的放射性核素包括  $^{90}\text{Y}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《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》和《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》的规定和要求，本项目需进行环境影响评价。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部令第16号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用II类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，环境影响评价文件形式应为编制环境影响报告表。为保护环境，保障公众健康，复旦大学附属中山医院厦门医院特委托中辐环境科技有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。评价单位接受委托后，组织了工程技术人员现场踏勘与调查，充分收集相关资料，按照《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）中环境影响报告表的内容和格式，编制了本项目的环境影响报告表。

### 1.2.2 评价目的

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 项目选址及周边环境保护目标

### 1.3.1 医院外环境关系

复旦大学附属中山医院厦门医院位于福建省厦门市湖里区金湖路668号，医院东侧紧邻五缘湾感恩广场，南侧紧邻穆厝南路，西侧紧邻五缘湾道，北侧紧邻枋湖南路。医院主入口位于西侧五缘湾道上，1号楼位于医院地块北部，2号楼位于医院地块中部，本项目所涉及辐射工作场所位于1号楼和2号楼内。

地理位置见图 1.3-1，周边环境关系见图 1.3-2，周边环境现状见图 1.3-3。

### 1.3.2 本项目周围环境关系

本项目 1 号楼负一楼核医学科场所距离东侧五缘湾感恩广场约 31m，南侧穆厝南路约 247m，西侧五缘湾道约 99m，北侧枋湖南路约 50m。本项目 1 号楼负一楼核医学科辐射工作场所外 50m 范围内主要为医院内部建筑物和医院外道路。

本项目 2 号楼三层介入手术室 DSA5 距离东侧五缘湾感恩广场约 96m，南侧穆厝南路约 270m，西侧五缘湾道约 73m，北侧枋湖南路约 128m。本项目 2 号楼三层介入手术室 DSA5 辐射工作场所外 50m 范围内主要为医院内部建筑物和医院外道路。

本项目 1 号楼八层原 37~38 床病房距离东侧五缘湾感恩广场约 139m，南侧穆厝南路约 304m，西侧五缘湾道约 32m，北侧枋湖南路约 114m。本项目 1 号楼八层原 39~40 床病房辐射工作场所外 50m 范围内主要为医院内部建筑物和医院外道路。

本项目辐射场所六面布局见表 1-4，本项目辐射场所周围现状见图 1.3-4。

表 1-4 本项目辐射场所六面布局一览表

所在区域	功能用房名称	四周及楼上、楼下对应场所情况					
		东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
1 号楼负一楼 核医学科 SPECT 区域工 作场所	SPECT/CT 1 室	受检者通道	SPECT/CT2 室（预 留）	控制廊	受检者通道	办公室	地下停车场
	甲功测定室	运动负荷室	问诊室 1	室外过道	控制廊	大厅过道	地下停车场
	运动负荷室	受检者通道	问诊室 2 及卫生间	甲功测定室	SPECT/CT2 室（预 留）	大厅过道	地下停车场
	注射室	标记分装室（锝）	专用卫生间	受检者通道	注射后休息区	大厅过道	地下停车场
	标记分装室（锝）	病人通道	缓冲室	注射室	受检者通道	大厅过道	地下停车场
	注射后休息区	病人通道	注射室及受检者通 道	SPECT/CT 1 室	受检者通道	大厅过道及出 入院办理	地下停车场
	检查后休息室	给药室	储源室	受检者通道	受检者通道	大厅过道	地下停车场
2 号楼三层	介入手术室 DSA5	控制廊	清洁通道	缓冲间、清洁通道及 设备室	DSA4	手术中心	检验科大厅
1 号楼八层	37~38 床病房	35~36 床病房	临空	39~40 床病房	室内过道	9A/9B 病区	7A/7B 病区

### 1.3.4 项目选址合理性分析

本项目位于复旦大学附属中山医院厦门医院 1 号楼负一楼核医学科、八层病房和 2 号楼三层介入科位置，均为前期已建工作场所，不新增土地，项目用地属于医疗卫生用地。1 号楼和 2 号楼均为独栋建筑，周围无环境制约因素，各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。本项目各辐射工作场所均有相应的屏蔽设计，通过后文环境影响分析可知，经辐射屏蔽措施后，本项目的运行对周围环境的影响是可接受的。

综上所述，本项目选址充分考虑了邻近周围场所的防护和安全。从辐射场所的楼层平面布局可知，各辐射场所与其配套单元间功能布局分区明确，不相互穿插、干扰，本项目选址合理。

### 1.4 实践的正当性

医院实施本项目，目的在于开展放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护原则中“实践的正当性”的要求。

### 1.5 产业政策符合性分析

本项目属于国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年第 7 号令）中第六项“核能”中第 4 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”和第十三项“医药”中第四条“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……”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

### 1.6 原有核技术利用项目许可情况

#### 1.6.1 原有核技术利用项目辐射安全许可证情况

医院现有核技术利用项目已取得由福建省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，证书编号：闽环辐证（00305）（见附件 4）；发证日期：2026 年 3 月 9 日，有效期至：2027 年 8 月 8 日；许可的种类和范围：使用 V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

经与建设单位核实，医院其他院区现有的非密封放射性物质、放射源和射线装置许可情况明细见表 1-5~1-7。

表 1-5 医院已许可非密封放射性物质一览表

核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	使用场所	活动种类	环评情况	验收情况	使用状态
F-18	$7.4 \times 10^6$	$1.78 \times 10^{12}$	1 号楼负一层: 核医学科	使用	闽环辐评 (2018) 6 号	已自主验收	在用
Sr-89	$3.7 \times 10^7$	$3.7 \times 10^{10}$		使用			在用
Tc-99m	$4.63 \times 10^7$	$1.11 \times 10^{13}$		使用			在用
I-131	$2.59 \times 10^9$	$7.10 \times 10^{12}$		使用			在用
Sm-153	$3.7 \times 10^7$	$3.7 \times 10^{10}$		使用		/	未使用
F-18	$4.44 \times 10^{10}$	$4.44 \times 10^8$		生产		/	未使用
C-11	$2.96 \times 10^{10}$	$7.1 \times 10^{12}$		生产		/	未使用
C-11	$1.85 \times 10^6$	$4.44 \times 10^{11}$		使用		/	未使用

表 1-6 医院已许可放射源一览表

核素名称	类别	活度	使用场所	环评情况	验收情况	使用状态
Ge-68	V 类	$4.6 \times 10^7 * 2$	1 号楼负一层: 核医学科	已通过环评	/	在用
Ge-68	V 类	$9.25 \times 10^7 * 1$	1 号楼负一层: 核医学科			在用
Gd-153	V 类	$3.7 \times 10^8 * 1$	1 号楼负一层: 核医学科			在用
Co-57	V 类	$1.2 \times 10^8 * 1$	1 号楼负一层: 核医学科			在用
Co-57	V 类	$1.85 \times 10^6 * 1$	1 号楼负一层: 核医学科			在用

表 1-7 现有已许可的射线装置明细表

序号	装置名称	装置型号	类别	场所	环评情况	验收情况	使用状态
1	医用回旋加速器	CyclotronMIN ItraceQilin	II类	1 号楼负一层: 核医学科	闽环辐评 (2018) 6 号	已自主验收	在用
2	正电子发射及 X 射线计算机断层成像系统 (PET/CT)	西门子 BiographmCT-S	III类	1 号楼负一层: 核医学科	闽环辐评 (2018) 6 号	已自主验收	在用
3	单光子发射及 X 射线计算机断层成像系统 (SPECT/CT)	西门子 SymbiaIntevo 16	III类	1 号楼负一层: 核医学科	闽环辐评 (2018) 6 号	已自主验收	在用
4	牙科 X 射线机	西诺德 HELIODENT PLUS D3507	III类	1 号楼十四层: 口腔科	闽环辐评 (2018) 6 号	/	在用
5	胃肠机	D3507 ULtimax-DRE X-UI80	III类	1 号楼一层胃肠机室	闽环辐评 (2018) 6 号	/	在用
6	医用直线加速器	uRT-linac506c	II类	2 号楼负一层: 放疗科	闽环辐评 (2018) 6 号	已自主验收	在用
7	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用	Versa HD	II类	2 号楼负一层: 放疗科	闽环辐评 (2018) 6 号	已自主验收	在用

	加速器						
8	CT(放疗 CT 模拟定位机)	飞利浦 BrillianceCT BigBore	III类	2号楼负一层：放 疗科	闽环辐评 (2018)6 号	/	在用
9	体外冲击波 碎石机(碎 石机)	HK.ESWL-V	III类	2号楼负一层：震 波碎石室	闽环辐评 (2018)6 号	/	在用
10	DSA2	Artis zeeLLLceiLing	II类	2号楼三层：DSA 介入平台	闽环辐评 (2018)6 号	已自主 验收	在用
11	DSA3	CAD17Z2049	II类	2号楼三层：DSA 介入平台	闽环辐评 (2018)6 号	已自主 验收	在用
12	DSA1	LNFX-9000V	II类	2号楼三层：DSA 介入平台	闽环辐评 (2018)6 号	已自主 验收	在用
13	DSA5	InnovaIGS5	II类	2号楼三层：DSA 介入平台	闽环辐评 (2018)6 号	已自主 验收	在用
14	透视摄影机 (支气管镜)	Ultimax-DRE X-UI80	III类	2号楼三层：内镜 中心	已备案	/	在用
15	ERCP	Ultimax-iDRE X-UI80	II类	2号楼三层：内镜 中心	闽环辐评 (2018)6 号	已自主 验收	在用
16	移动式C臂 机	西门子 ARCADIS Orbic	III类	2号楼四层：手术 中心	闽环辐评 (2018)6 号	/	在用
17	移动式C臂 机	西门子 CiosFusion	III类	2号楼四层：手术 中心	闽环辐评 (2018)6 号	/	在用
18	MIYABI Angio-CT	DSA: ARTIS pheno CT: Definition AS SlidingGantry	II类	2号楼四层：手术 中心	闽环辐评 (2018)6 号	已自主 验收	在用
19	DR	联影 uDR 780i	III类	2号楼一层：放射 科	闽环辐评 (2018)6 号	/	在用
20	CT(256排)	RevolutionCT	III类	2号楼一层：放射 科	闽环辐评 (2018)6 号	/	在用
21	CT	联影 uCT760	III类	2号楼一层：放射 科	闽环辐评 (2018)6 号	/	在用
22	牙科X射线 机(牙片机)	西诺德 HELIODENTP LUSD3507	III类	3号楼四层：口腔 科	已备案	/	在用
23	口腔CT	西诺德 ORTHOPHOS	III类	3号楼四层：口腔 科	已备案	/	在用

		SL3D					
24	乳腺机	MAMMOMA TInapiration	III类	4号楼一层：放射科	闽环辐评(2018)6号	/	在用
25	数字化医用X射线摄影系统	联影 uDR 770i	III类	4号楼一层：放射科	闽环辐评(2018)6号	/	在用
26	双能 X 射线骨密度仪(全身骨密度仪)	豪洛捷 Horizon-A	III类	4号楼一层：放射科	闽环辐评(2018)6号	/	在用
27	X 射线计算机断层摄影设备	AquilionONET SX-301C	III类	4号楼一层：放射科	闽环辐评(2018)6号	/	在用
28	CT	uCT510	III类	4号楼一层：放射科	闽环辐评(2018)6号	/	在用
29	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	uCT 530	III类	门诊放射科	已备案	/	在用
30	移动 DR	联影 uDR370i	III类	无固定场所，全院移动使用：放射科	已备案	/	在用
31	移动 DR	联影 uDR370i	III类	无固定场所，全院移动使用：放射科	已备案	/	在用

### 1.6.2 原有核技术利用项目管理情况

#### 一、辐射防护管理制度

医院已成立了放射安全防护小组，制定了一系列的辐射工作管理制度：

根据医院提供的资料，医院已建立了一系列辐射安全与防护管理制度，包括《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《放射工作人员培训考核计划》、《放射诊疗设备维护、维修规定》、《辐射事故应急预案》、《核医学科放射源管理制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《辐射环境监测制度》和《个人防护用品配置、使用及维护管理制度》等，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，可以满足原有项目运行的管理需求。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、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”。

医院应根据本项目的情况，尽快为本项目新建的机房建立健全和落实相应的

规章制度和操作规程，并加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

## 二、现有辐射工作人员管理

培训情况：医院现有 132 名辐射工作人员，医院现有辐射工作人员均已参加国家核技术利用辐射安全与防护知识培训或医院内部自主培训，并取得辐射安全与防护考核合格证书、合格证书在有效期内。

个人剂量：医院为所有人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送检，并建立了个人剂量档案，根据医院提供的最近 1 年的个人剂量检测报告（由浙江建安检测研究院有限公司检测，详见附件 7），所有辐射工作人员年度个人剂量检测值均满足职业人员年剂量 5mSv 的管理目标值。

职业健康体检：医院已组织辐射工作人员进行了职业健康体检，辐射工作人员体检结果为可从事放射工作或可继续原放射工作。

医院已加强职业健康检查管理工作，严格落实工作人员健康管理制度，杜绝未参加岗前体检者从事辐射岗位工作，在岗期间定期参加体检（最长不超过 2 年），脱离辐射岗位的人员应参加离岗检查。

## 三、辐射工作场所监测情况

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

## 四、辐射应急演练和年度评估

根据医院原有核技术利用项目，医院已制定有《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射源和射线装

置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

五、复旦大学附属中山医院厦门医院开展辐射诊疗至今，未发生过辐射安全事故（件）。



审图号：闽S(2024)186号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制

图 1.3-1 地理位置



图 1.3-2 周围环境图



东侧



南侧



西侧



北侧

图 1.3-3 医院周边环境现状图



核医学科场所



核医学科病房



核医学科注射窗



核医学科通风柜



核医学科铅桶



核医学科 SPECT/CT 机房



核医学科缓冲间



核医学科危废暂存间



核医学科地下衰变室



1号楼八层原 37~38 床病房



1 号楼



2 号楼

图 1.3-3 本项目现有辐射场所照片

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	贮存方式与地点	备注
1	<sup>90</sup> Y 微球	悬浮液/中毒/半衰期 2.67h	使用	3.0×10 <sup>9</sup>	3.0×10 <sup>7</sup>	1.8×10 <sup>11</sup>	肿瘤治疗	很简单的操作	1 号楼负一楼核医学科 SPECT 区域和	外购, 储源室贮存	新增
2	<sup>99m</sup> Tc	液态/低毒/半衰期 6.02h	使用	1.85×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>5</sup>	2.22×10 <sup>10</sup>	SPECT/CT 显像检查	很简单的操作	2 号楼三层介入手术室 DSA5		依托原有
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	装置名称	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	DSA	II	1	Lnnova IGS 5	125	1000	影像诊断与介入治疗	2 号楼三层介入手术室 DSA5	依托原有
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废弃物（一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶及有机玻璃防护罐等）	固态	<sup>90</sup> Y	/	/	360kg	/	依托核医学科污物间铅污物桶内暂存	废物储存衰变至满足 HJ1188-2021 的要求后，作为医疗废物委托有资质单位处置
	固态	<sup>99m</sup> Tc	/	/		/		
手术过程中产生的污染纱布绷带等废敷料，一次性手套、废弃的药品及器具等医疗废物	固体	/	/	/	8kg	/	暂存在介入手术室 DSA5 内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物委托有资质单位处置
放射性废水	液态	<sup>90</sup> Y	/	/	/	10Bq/L	收集后置于铅废物桶中，然后转移至衰变池衰变	在衰变池组暂存时间超过 30 天，经监测总β≤10Bq/L 后，可直接解控排放，排入院内污水处理站进一步处理，后进入城市污水管网
非放射性废气	气态	臭氧、氮氧化物	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境

注：1、常见废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/m<sup>3</sup>，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用 kg；

2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量，单位分别为 Bq/L（kg、m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

## 表 6 评价依据

<p>法 规 文 件</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日起施行）；</li> <li>2. 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第 24 号 2018 年修订，2018 年 12 月 29 日起施行）；</li> <li>3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行）；</li> <li>4. 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行）；</li> <li>5. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）；</li> <li>6. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行，2014 年 7 月 29 日第一次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订）；</li> <li>7. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日，国家环境保护总局令第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修改，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修改，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令第 20 号修改）；</li> <li>8. 《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 日起施行）；</li> <li>9. 《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，2011 年 5 月 1 日起施行）；</li> <li>10. 《放射性废物安全管理条例》（2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令第 612 号公布），自 2012 年 3 月 1 日起施行；</li> <li>11. 《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）；</li> <li>12. 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年第 65 号），自 2018 年 1 月 1 日起施行；</li> <li>13. 《医疗废物管理条例》（2003 年 6 月 16 日中华人民共和国国务院令第</li> </ol>
----------------------------	---

	<p>380号公布,根据2011年1月8日中华人民共和国国务院令 第588号修订),自2011年1月8日实施修订版;</p> <p>14.《国家危险废物名录(2025年版)》(2024年11月26日生态环境部、国家发展改革委、公安部、交通运输部、国家卫生健康委令 第36号公布),2025年1月1日起施行;</p> <p>15.《产业结构调整指导目录(2024年本)》(2023年12月27日中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号公布,自2024年2月1日起施行);</p> <p>17.《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);</p> <p>18.《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(中华人民共和国环境保护部,环办辐射函〔2016〕430号);</p> <p>19.生态环境部《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9月;</p> <p>20.《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》(2019年12月23日生态环境部发布,自2020年1月1日起实施);</p> <p>21.《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告2021年第9号),自2021年3月15日起施行;</p> <p>22.《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4号),自2017年11月20日起施行;</p> <p>23.《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〔2013〕10号;</p> <p>24.《福建省生态环境保护条例》(福建省第十三届人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过,2022年5月1日施行)。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>1.《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);</p> <p>2.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>3.《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021);</p> <p>4.《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>5.《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</li> <li>7. 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）</li> <li>8. 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</li> <li>9. 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</li> <li>10. 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》（HJ421-2008）；</li> <li>11. 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）。</li> </ol>
其他	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《钷-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）；</li> <li>2. 复旦大学附属中山医院厦门医院环境影响评价委托书；</li> <li>3. 《复旦大学附属中山医院厦门医院核技术利用项目环境影响报告表》及其批复文件；</li> <li>4. 医院提供与本项目有关的各种资料和项目设计图纸。</li> </ol>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据本项目的特点，结合《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，本次辐射环境影响评价范围取本项目核技术利用辐射工作场所实体边界外延 50m 为评价范围，评价范围详见图 1.2-2。

### 7.2 保护目标

根据图 1.2-2 可知，本项目拟建辐射工作场所外 50m 范围内主要为医院 1 号楼、2 号楼和 8 号楼，且评价范围内无以居住、文化教育、科研、行政办公等为主要功能的环境敏感点。因此，本项目周边的环境保护目标为本项目辐射工作人员及评价范围内的其他医护人员及公众。

本项目保护目标详见表7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

医疗单元	位置描述	保护目标	方位	最近距离	规模	照射类型	保护要求 (mSv/a)
1 号楼 负一楼 核医学科 SPECT 区域工作场所	SPECT 区域内	职业人员	内部	/	约 4 人	职业照射	5
	SPECT 控制廊		北侧	紧邻			
	受检者通道、空调机房等	公众	东侧	紧邻	约 15 人	公众照射	0.1
	核医学科核素治疗区域		南侧	紧邻	约 20 人		0.1
	问诊室、候诊区、受检者通道等		西侧	紧邻	约 35 人		0.1
	室外过道		北侧	紧邻	约 4 人		0.1
	大厅过道、办公室、出入院办理等		上方	紧邻	约 30 人		0.1
	地下停车场		下方	紧邻	约 10 人		0.1
	2 号楼		南侧	50m 范围内	约 30 人		0.1
	8 号楼		西北侧	50m 范围内	约 10 人		0.1
2 号楼 三层介	控制廊		职业人员	东侧	紧邻		约 4 人

入手术室 DSA5	清洁通道	公众	南侧	紧邻	约 10 人	公众 照射	0.1
	缓冲间、清洁通道及设备间		西侧	紧邻	约 5 人		0.1
	DSA4		北侧	紧邻	约 5 人		0.1
	手术中心		上方	紧邻	约 10 人		0.1
	检验科大厅		下方	紧邻	约 20 人		0.1
	1 号楼		北侧	50m 范围内	约 100 人		0.1
1 号楼 八层 37~38 床病房	37~38 床病房	职业人员	内部	/	约 2 人	职业 照射	5
	35~36 床病房	公众	东侧	紧邻	约 2 人	公众 照射	0.1
	临空		南侧	/	/	/	/
	39~40 床病房		西侧	紧邻	约 1 人	公众 照射	0.1
	室内过道		北侧	紧邻	约 10 人		0.1
	9A/9B 病区		上方	紧邻	约 5 人		0.1
	7A/7B 病区		下方	紧邻	约 5 人		0.1

## 7.3 评价标准

### 7.3 评价标准

#### 7.3.1 剂量限值及剂量管理约束值

据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的规定，以及本项目特点并遵循辐射防护最优化原则，从事本项目辐射工作人员和公众的年剂量限值及剂量管理约束值见表 7-2。

表 7-2 剂量限值及剂量管理约束值

使用范围	职业照射	公众照射
剂量限值	20mSv/a	1mSv/a
剂量管理约束值	5mSv/a	0.1mSv/a

#### 7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，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

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

#### 6.4.2 监督区

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

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

#### 4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

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

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

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

#### 7.3.3 非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应按照表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性识别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-4 和表 7-5。

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

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

### 7.3.4 核医学科工作场所评价标准

#### 一、辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中的相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7-6。

表 7-6 本项目核医学科屏蔽体外周围剂量当量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平
核医学科	距核医学工作场所控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处，通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位、固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处等控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）。	$< 2.5\mu\text{Sv/h}$
	控制区屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子小于 1/2）	$< 10\mu\text{Sv/h}$
	手套箱非正对人员操作位表面	$< 25\mu\text{Sv/h}$

#### 二、表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关规定，核医学科辐射工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-7。

表 7-7 核医学科工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		$\beta$ 放射性物质（Bq/cm <sup>2</sup> ）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>a</sup>	$4 \times 10$
	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	4×10 <sup>-1</sup>
a 该区内的高污染子区除外	

### 三、核医学工作场所通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），核医学工作场所通风要求如下：

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 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。

7.4.1 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。

### 四、《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)

Y-90 树脂微球在核医学科的活度测量。抽取与 <sup>99m</sup>Tc 核素的使用活动类似，这类操作过程的辐射风险包括可能会有少量液体洒漏和飞溅，参照《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）要求，可将医疗机构 Y-90 树脂微球介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单操作”，操作方式修正因子为 10，Y-90 核素属于中毒组，毒性因子取 0.1。

#### 7.3.5 X 射线设备机房要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

#### 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 7-4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于

0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

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

**6.5.5** 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

**表 7-8 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		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：“—”表示不作要求。 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。				

## **7 X 射线设备操作的防护安全要求**

**7.8** 介入放射学和近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备操作的防护安全要求

**7.8.1** 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备应满足其相应设备的防护安全操作要求。

**7.8.2** 介入放射学用 X 射线设备应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

**7.8.3** 除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

**7.8.4** 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ128 的规定。

### **7.3.3 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）**

## **4 监测要求**

### **4.3 监测周期或频次**

**4.3.1** 常规监测的周期应综合考虑放射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 1 个月，最

长不得超过 3 个月。

## 5 监测系统与使用要求

### 5.2 剂量计

5.2.3 对于强贯穿辐射和弱贯穿辐射的混合辐射场，弱贯穿辐射的剂量贡献 $\leq 10\%$ 时，一般可只监测 Hp (10)；弱贯穿辐射的剂量贡献 $> 10\%$ 时，宜使用能识别两者的鉴别式个人剂量计，或用躯体剂量计和局部剂量计分别测量 Hp (10) 和 Hp (0.07)。

### 5.3 佩戴

5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。

5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。

5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

### 7.3.6 放射性废物处理规定

#### 一、放射性废水

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

#### 7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871-2002 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总  $\alpha$  不大于 1Bq/L、总  $\beta$  不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

员、排放时间、监测结果等信息。

另根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定，综合医疗机构水污染物排放标准执行表 2 规定限值，详见表 7-9。

表 7-9 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

控制项目	排放标准	预处理标准
总 $\alpha$ (Bq/L)	1	1
总 $\beta$ (Bq/L)	10	10

## 二、固体放射性废物

### 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

#### 4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不再遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

表 7-10 本项目放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度（摘自附录 A 中表 A1）

核素	活度浓度/ (Bq/g)	活度/Bq
$^{90}\text{Y}$	1E+03	1E+05
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1E+02	1E+07

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

#### 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， $\alpha$  表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 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  $\beta$  和  $\gamma$  发射体以及低毒性  $\alpha$  发射体应小于 4Bq/cm<sup>2</sup>、其他  $\alpha$  发射体应小于 0.4Bq/cm<sup>2</sup>。

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。

### 三、放射性废气

#### 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

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

#### 7.3.7 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）

医疗废物属危险废物，按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中规定。

#### 7.3.8 放射性核素治疗患者出院要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中第 4.5.1 款规定：为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B（见下图 7-1）的相关规定。

附录 B  
(资料性附录)  
患者出院的体内放射性核素活度控制

**B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求**

为确保放射治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，放射治疗患者出院时体内放射性活度应符合表 B.1 的要求。

**表 B.1 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求**

放射性核素	主要发射 (keV)			半衰期 (d)	患者出院时体内放射性活度要求 (MBq)
	$\beta_{max}$	$\beta_{ave}$	$\gamma$ 及 X		
<sup>32</sup> P	1710	695	—	14.26	≤ 800
<sup>89</sup> Sr	1492	583	—	50.53	≤ 200
<sup>90</sup> Y	2284	934	—	2.67	≤ 2500
<sup>111</sup> In	245	—	204	2.8047	≤ 780
<sup>131</sup> I	606	—	364	8.0207	≤ 400
<sup>153</sup> Sm	881	224	103	1.93	≤ 2500
<sup>186</sup> Re	1070	349	137	3.8	≤ 9000
<sup>188</sup> Re	2120	—	155	0.7	≤ 9000
<sup>198</sup> Au	372	—	411	2.696	≤ 1000
<sup>201</sup> Tl	167	—	61	3.038	≤ 5100

注：资料来自 IAEA 63 号安全报告 (2009)。

图 7-1 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求一览表

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

复旦大学附属中山医院厦门医院位于福建省厦门市湖里区金湖路 668 号, 本项目涉及工作场所位于医院 1 号楼负一楼核医学科、2 号楼三层介入手术室 DSA5 和 1 号楼八层原 37~38 床病房。

### 8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- 一、环境现状评价对象：拟扩建辐射项目区域及周边环境
- 二、监测因子： $\gamma$ 辐射剂量率
- 三、监测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点, 监测点位见图 8.2-1~图 8.2-6。

图 8.2-1 本项目核医学科工作场所周围监测点位布置示意图 1

图 8.2-2 本项目介入科 DSA5 工作场所周围监测点位布置示意图 2

图 8.2-3 本项目病人病房辐射工作场所周围监测点位布置示意图 3

图 8.2-4 本项目核医学科衰变池辐射工作场所周围监测点位布置示意图 4

图 8.2-5 本项目拟建辐射工作场所周围监测点位布置示意图 5

图 8.2-6 本项目拟建辐射工作场所周围监测点位布置示意图 6

### 8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

#### 8.3.1 监测方案

- 一、监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

二、监测日期：2024年8月19日

三、监测方式：现场监测

四、监测依据：HJ 1157-2021《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》、HJ 61-2021《辐射环境监测技术规范》和 GB/T 14056.1-2008《表面污染测定第1部分： $\beta$ 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 $\alpha$ 发射体》

五、监测频次：每个监测点测量10个数据

六、天气环境条件：温度27°C，环境湿度73%，阴。

七、监测设备：

表 8.3-1 X、 $\gamma$ 辐射剂量当量率仪参数表

仪器名称	便携式 X、 $\gamma$ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H
生产厂家	automess
仪器编号	05038417
能量范围	38keV~7MeV
量程	模拟量程：10nSv/h~100 $\mu$ Sv/h； 数字量程 1nSv/h~99.9 $\mu$ Sv/h（数字）
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
检定证书	2024H21-20-5396818002
检定有效期	2024年7月30日~2025年7月29日

表 8.3-2  $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪参数表

仪器名称	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪
仪器型号	CoMo 170
生产厂家	S.E.A
仪器编号	05035883
探测器灵敏窗面积	170cm <sup>2</sup>
探测器本底	$\alpha$ :0.1CPS； $\beta$ :15~25CPS
检定单位	上海市计量测试技术研究院，华东国家计量测试中心
检定证书	2024H21-20-5095607001
检定有效期	2024年2月5日~2025年2月4日

### 8.3.2 质量保证措施

根据《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）、《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中有关辐射环境监测质量保证一般程序和实验室的质量体系文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书）实行全过程质量控制，保证此次监测结果科学、有效。辐射环境监测质量保证主要内容有：

①监测机构通过了计量认证。

②监测前制定了详细的监测方案及实施细则。

③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。

④监测所用仪器已通过计量部门校准、检定合格，且在校准、检定有效使用期内使用。监测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合，以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制，严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行。

⑤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。

⑥每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑦现场监测严格按照规定的监测点位、方法、记录内容等进行，按照统计学原则处理异常数据和监测数据。

⑧建立完整的文件资料。仪器校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查。

⑨监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。

### 8.3.3 监测结果

表 8.3-2 项目场地及周围辐射剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
		环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率平均值	
1	1号楼负一层核医学科走道4防护门外	78	室内
2	1号楼负一层核医学科抢救室内	93	室内
3	1号楼负一层核医学科更衣室内	92	室内
4	1号楼负一层核医学科病房01~02床内	85	室内
5	1号楼负一层核医学科走道4内	84	室内
6	1号楼负一层核医学科病房03~04床内	80	室内

7	1号楼负一层核医学科污洗室内	83	室内
8	1号楼负一层核医学科病房 05~06 床内	92	室内
9	1号楼负一层核医学科病房 07~08 床内	93	室内
10	1号楼负一层核医学科走道 5 防护门外	69	室内
11	1号楼负一层核医学科给药室内	60	室内
12	1号楼负一层核医学科污洗室内	85	室内
13	1号楼负一层核医学科废弃物存放室内	66	室内
14	1号楼负一层核医学科空调机房内	61	室内
15	1号楼负一层核医学科消防泵房内	65	室内
16	1号楼负一层核医学科室外过道	99	室外
17	1号楼负一层核医学科病房 01~02 床楼上	78	室内
18	1号楼负一层核医学科病房 01~02 床楼下	84	室内
19	1号楼负一层核医学科病房 03~04 床楼上	78	室内
20	1号楼负一层核医学科病房 03~04 床楼下	86	室内
21	1号楼负一层核医学科病房 05~06 床楼上	79	室内
22	1号楼负一层核医学科病房 05~06 床楼下	85	室内
23	1号楼负一层核医学科病房 07~08 床楼上	77	室内
24	1号楼负一层核医学科病房 07~08 床楼下	85	室内
25	1号楼负一层核医学科废弃物存放室楼上	84	室内
26	1号楼负一层核医学科废弃物存放室楼下	88	室内
27	2号楼三层介入科 DSA 手术室 5 内	62	室内
28	2号楼三层介入科 DSA 手术室 5 西侧防护门外	78	室内
29	2号楼三层介入科 DSA 手术室 5 北侧	57	室内
30	2号楼三层介入科 DSA 手术室 5 东侧控制廊	65	室内
31	2号楼三层介入科 DSA 手术室 5 南侧	71	室内
32	2号楼三层介入科 DSA 手术室 5 楼上	78	室内
33	2号楼三层介入科 DSA 手术室 5 楼下	76	室内
34	1号楼八层 39~40 床病房内	85	室内
35	1号楼八层 39~40 床病房西侧	85	室内
36	1号楼八层 39~40 床病房北侧	85	室内

37	1 号楼八层 37~38 床病房内	85	室内
38	1 号楼八层 37~38 床病房东侧	81	室内
39	1 号楼八层 37~38 床病房北侧	83	室内
40	1 号楼八层 39~40 床病房楼上	81	室内
41	1 号楼八层 39~40 床病房楼下	85	室内
42	1 号楼八层 37~38 床病房楼上	84	室内
43	1 号楼八层 37~38 床病房楼下	86	室内
44	1 号楼负二层衰变池上方	95	室内
45	1 号楼负二层衰变池东侧	94	室内
46	1 号楼负二层衰变池南侧	93	室内
47	1 号楼负二层衰变池西侧	96	室内
48	1 号楼负二层衰变池北侧	97	室内
49	辅助机房南侧	81	室外
50	1 号楼南侧	89	室外
51	2 号楼北侧	95	室外
52	3 号楼北侧	92	室外
53	4 号楼北侧	92	室外

注:

- 1、测量时探头距离地面约 1m;
- 2、每个监测点测量 10 个数据取平均值, 以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正;
- 3、环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值 $\times$ 校准因子  $k_1$  $\times$ 仪器检验源效率因子  $k_2$  $\div$ 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子  $k_3$  $\times$ 测量点宇宙射线响应值  $D_c$ , 校准因子  $k_1$  为 0.99, 仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  进行校准, 效率因子  $k_2$  取 1, 换算系数为 1.20Sv/Gy,  $k_3$  楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1, 仪器对宇宙射线的响应值为 30nGy/h

**表 8.3-3 项目核医学科场所环境辐射  $\beta$  表面污染监测结果**

监测点 编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)
		$\beta$ 表面污染
1	1 号楼负一层核医学科走道 4 防护门外	<0.07
2	1 号楼负一层核医学科抢救室内	<0.07
3	1 号楼负一层核医学科病房 01~02 床内	<0.07
4	1 号楼负一层核医学科走道 4 内	<0.07
5	1 号楼负一层核医学科病房 03~04 床内	<0.07
6	1 号楼负一层核医学科污洗室内	<0.07

7	1 号楼负一层核医学科病房 05~06 床内	<0.07
8	1 号楼负一层核医学科病房 07~08 床内	<0.07
9	1 号楼负一层核医学科走道 5 防护门外	<0.07
10	1 号楼负一层核医学科给药室内	<0.07
11	1 号楼负一层核医学科污洗室内	<0.07
12	1 号楼负一层核医学科废弃物存放室内	<0.07
附注 1: 0.07Bq/cm <sup>2</sup> 为 CoMo 170 型α、β表面污染仪/05035883 的β表面污染探测下限		

#### 8.4 环境现状评价

由表 8.3-2 可知,本项目场址周围的γ辐射剂量率在 60nGy/h~99nGy/h 之间(室内在 60nGy/h~97nGy/h 之间,道路为 81nGy/h~99nGy/h),处于《中国环境天然放射性水平》(中国原子能出版社,2015 年)第 390 页表 5 中福建省室内及道路辐射空气吸收剂量率正常范围内(室内(25.9~334.3)nGy/h,道路(70.9~351.7)nGy/h)。本项目拟选工作场所及场所周边辐射剂量率与该调查水平基本一致,建设项目场所环境辐射剂量率处于当地天然辐射正常水平范围内。

由表 8.3-3 可知,本项目各监测点位β表面污染监测结果均小于仪器探测下限,未见异常。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 工程设备和工艺分析

#### 9.1.1 建设阶段工程分析

本项目  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗部分拟依托现有 1 号楼负一楼核医学科场所区域、2 号楼三层介入手术室 DSA5 及配套用房、1 号楼八层 37~38 床病房等区域，形成一个整体的  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗工作场所，该部分施工期主要为介入手术室 DSA5 机房的配套用房（缓冲间）局部改造工程。

本项目建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。

##### 一、废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，扬尘来自防护屏蔽施工、材料运输和装卸等施工活动，由于扬尘多且分散，属无组织排放。

##### 二、噪声

本项目产生噪声主要来自缓冲间屏蔽施工和装修等阶段。施工场地的噪声对周围环境有一定影响，但随着施工期的结束而结束。

##### 三、废水

本项目废水主要是施工人员的生活污水和少量施工废水，依托医院现有的污水处理系统进行妥善处理。

##### 四、固体废物

本项目工程量小，产生的建筑垃圾和施工人员的生活垃圾很少，可妥善处理。

#### 9.1.2 $^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗运行阶段工程分析

##### 一、非密封放射性物质

本项目  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗使用的  $^{90}\text{Y}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  均为外购，患者登记后工作人员根据患者所需用量进行订购，并暂存于核医学储源室，其中  $^{90}\text{Y}$  核素用于肿瘤治疗， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素用于肿瘤治疗前 SPECT/CT 显像诊断，筛选出符合  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗条件的患者安排住院治疗。

本项目使用的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  为单支药物，不开展药物分装，只需测活； $^{90}\text{Y}$  需护士根据患者需求在核医学科分装注射室内分装、测活。手术前医护人员将核素从核医学科连同防护罐一并转移至 2 号楼三层介入手术室 DSA5 机房储源柜中。本项

目所使用核素的性能参数见表 9-1，计划工作量见表 9-2。

**表 9-1 本项目核素的性能参数**

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 $\alpha$ 、 $\beta$ 辐射能量 (MeV)	主要 $\gamma$ 、X 射线能量 (MeV)	1m 处周围剂量当量率常数 (裸源) ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )
$^{90}\text{Y}$	2.67d	$\beta^-$ (100)	2.284	/	/
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT (100)	/	0.140	0.0303

**表 9-2 本项目核素的计划工作量**

核素	单人最大用量	日最大门诊量	年最大门诊量	日最大操作量	年最大使用量	用途
$^{90}\text{Y}$	$3\times 10^9\text{Bq}$	1 人	60 人	$3\times 10^9\text{Bq}$	$1.8\times 10^{11}\text{Bq}$	肿瘤治疗
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85\times 10^8\text{Bq}$	1 人	120 人	$1.85\times 10^8\text{Bq}$	$2.22\times 10^{10}\text{Bq}$	肿瘤治疗前显像诊断

## 二、射线装置

本项目核素 $^{90}\text{Y}$ 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 需依托介入手术室 DSA5 机房内 DSA 进行导管注射，肿瘤治疗前显像诊断和 $^{90}\text{Y}$ 核素注射后均需在核医学科 SPECT/CT 机房内进行显像，肿瘤治疗前显像诊断采用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素。

介入手术室 DSA5 机房位于 2 号楼三层，SPECT/CT 机房位于 1 号楼负一楼核医学科场所，DSA5 机房的 DSA 和 SPECT/CT 机房的 SPECT/CT 已于 2018 年医院委托湖北君邦环境技术有限公司编制了《复旦大学附属中山医院厦门医院核技术利用项目环境影响报告表》，取得原福建省环境保护局批复，批复文号为闽环辐评〔2018〕6 号，并在 2022 年 5 月和 2024 年 11 月完成自主验收。其操作流程和产污环节分析已在《复旦大学附属中山医院厦门医院核技术利用项目环境影响报告表》中进行分析，本报告不再分析。

## 三、工作原理

$^{90}\text{Y}$  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 20-60 $\mu\text{m}$ 。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量 $\beta$ 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。 $^{90}\text{Y}$  半衰期为 2.67 天，是通过化学方法从  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Y}$  放射性核素的颗粒注入肿瘤血管，使  $^{90}\text{Y}$  滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死人体中的肿瘤细胞，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。 $^{90}\text{Y}$  发出的 $\beta$ 射线最大能量为2.284MeV，在人体组织中的最大射程为11mm。

#### 四、工作流程及产污环节

$^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗分为第一阶段和第二阶段，其中第一阶段用于判断患者是否能够进行  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗，第二阶段对符合  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗条件的患者开展  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗。

第一阶段具体步骤如下：

- ①前一天进行术前准备，患者于当天手术前排空尿液。
- ②患者被麻醉后，由医护人员送至 DSA 机房做血管造影、放置导管，并栓塞胃肠侧支血管。
- ③医护人员对患者进行腹部电脑断层扫描，确定导管位置。
- ④护士通过导管向肝脏注入  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ )。
- ⑤由医护人员将患者从 DSA 机房转运至核医学科，进行 SPECT/CT 扫描，确定  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ ) 植入位置，并判断患者是否具备  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗条件。
- ⑥扫描完成后，如无法进行  $^{90}\text{Y}$  微球体肿瘤治疗，无其他情况，患者即可稍作休息后离院；能进行  $^{90}\text{Y}$  微球体肿瘤治疗的患者，住院 1 天，待医护人员记录患者身体情况后离院，7-10 天后再通知住院治疗。

第二阶段具体步骤如下：

通过第一阶段注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ ) 并进行显像扫描后判断患者可以进行  $^{90}\text{Y}$  手术治疗，医护人员通知患者 7-10 天后住院，准备进行第二阶段  $^{90}\text{Y}$  微球体输注。

- ①前一天进行术前准备，患者于当天手术前排空尿液。
- ②治疗当天，先将患者麻醉，并转移患者去 DSA 机房做血管造影，由医护人员经由股动脉置入肝动脉导管，通过导管注入  $^{90}\text{Y}$  微球体。

$^{90}\text{Y}$  微球体输注步骤如下：医护人员手持内置  $^{90}\text{Y}$  微球体的西林瓶防护罐进行摇晃，持续时间大约 30s/例。摇匀后，迅速打开防护罐盖子，使用长柄镊子夹取含  $^{90}\text{Y}$  微球体的西林瓶放置在活度计测井内，测量  $^{90}\text{Y}$  微球体总活度并进行记录。然后将带有 15mm 有机玻璃防护的注射器扎入西林瓶底部，快速抽压数次，使西林瓶中  $^{90}\text{Y}$  微球体混合均匀，抽取一定量的  $^{90}\text{Y}$  微球体注入无菌 V 瓶，将剩

余放射性药物放置在活度计测井中测量，直至抽取完成患者所需的合适的活度为止。注入结束后，拔出注射器，并装好针管，将无菌 V 瓶屏蔽罐的顶部塞盖好。<sup>90</sup>Y 微球体的活度测量、抽取过程大概持续 5min。

医护人员将测量完活度的含 <sup>90</sup>Y 微球体的无菌 V 瓶放置于注射防护盒内，加入无菌水或 5%右旋糖酐和造影剂等辅助材料。配制完成后，先注入造影剂复查导管位置；然后注入无菌水或 5%右旋糖酐冲洗导管，避免导管中造影剂与 <sup>90</sup>Y 微球体混合；将 <sup>90</sup>Y 微球通过患者体内的导管注入患者体内，直达病灶。将微球分小剂量多次注入，注入过程大概持续 20min。最后，将无菌水或 5%右旋糖酐注入导管，避免微球滞留在导管内。完成后，将导管从患者体内取出，将无菌 V 瓶、导管等放置于放射性废物桶内。

③同血管造影检查流程执行术后调理。

④完成治疗后 30h 内医护人员安排患者至核医学科核素诊断场所进行 SPECT/CT 扫描，确定 <sup>90</sup>Y 微球体植入位置是否正确。

⑤医护人员将患者转运至病房内住院观察 2 天，每名患者 <sup>90</sup>Y 最大给药量为  $3 \times 10^9 \text{Bq}$ ，<sup>90</sup>Y 半衰期约为 2.67 天，经过 2 天住院观察后，患者体内 <sup>90</sup>Y 放射性活度约为  $1.79 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，<sup>90</sup>Y 患者出院时，体内 <sup>90</sup>Y 放射性活度需低于  $2.5 \times 10^9 \text{Bq}$ 。因此 <sup>90</sup>Y 患者住院 2 天后可出院。

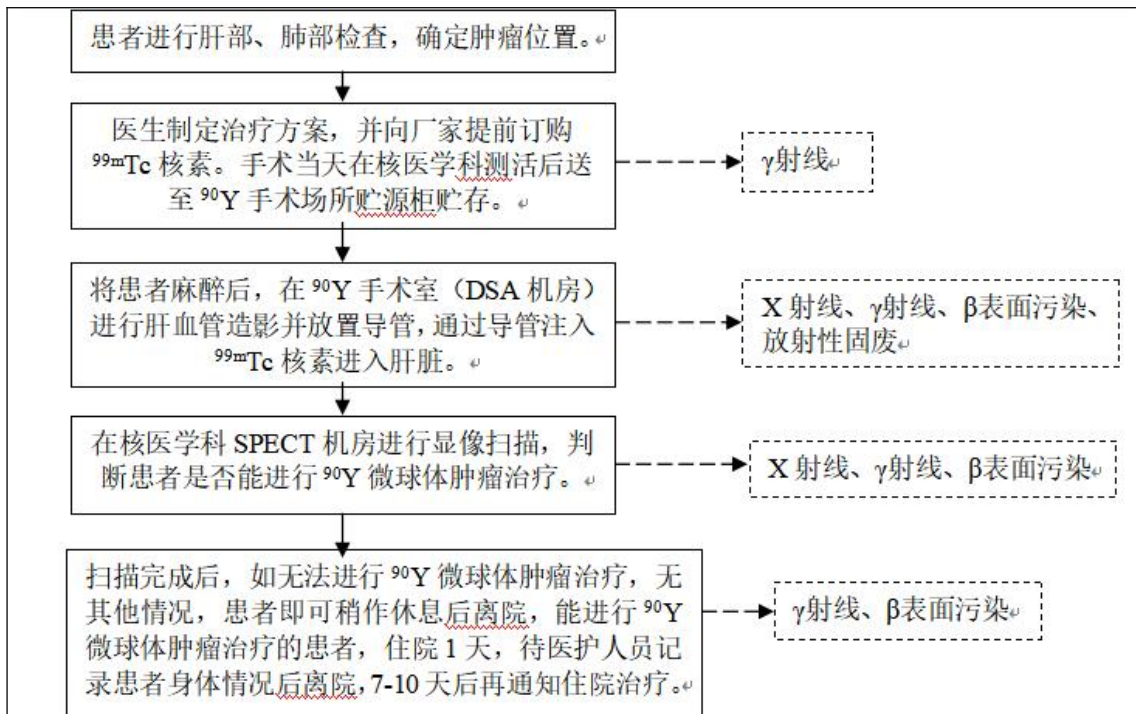


图 9-1 <sup>90</sup>Y 手术场所肿瘤治疗工作流程及产污环节分析示意图（第一阶段）

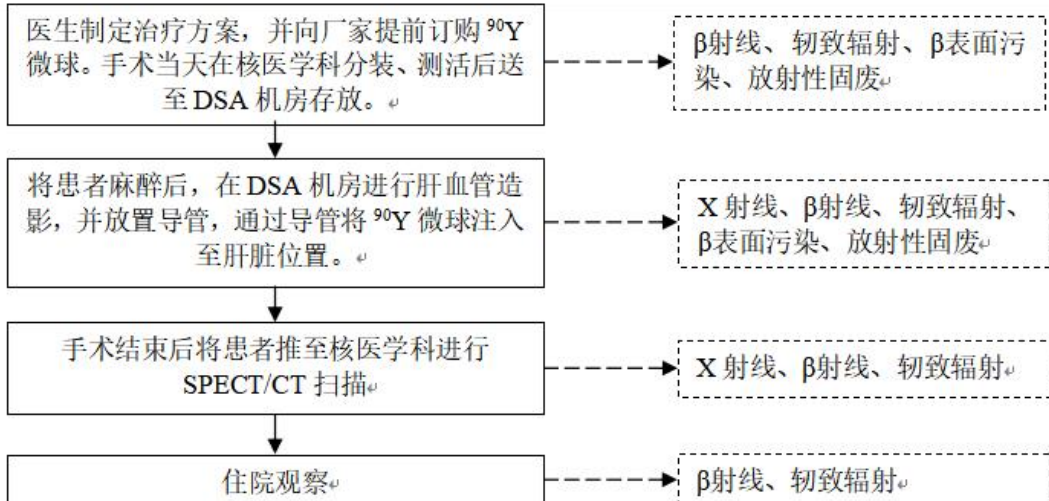


图 9-2 <sup>90</sup>Y 手术场所肿瘤治疗工作流程及产污环节分析示意图（第二阶段）



无菌 V 瓶



15mm 有机玻璃防护的注射器



防护罐



注射防护盒

图 9-3  $^{90}\text{Y}$  微球注射设施实物图

## 五、人流、物流路径规划

### （一）工作人员路径

DSA 医护人员、技师从 2 号楼四层换鞋更衣后通过东南侧电梯进入 2 号楼三层，并分别进入 DSA 控制室和 DSA 机房，技师在控制室内进行设备操作，医生经机房室西侧防护门进入 DSA 机房内部进行手术，工作结束后在缓冲间进行表面污染测定，测定无误后原路返回。

核医学科医护人员由核医学科西侧医生入口向东进入控制廊，在西侧医生走廊由西向东进出 SPECT/CT 机房，工作结束后原路返回。

核医学科医护核素操作人员由核医学科西侧住院入口向东进入核医学科候诊区，再往东南侧走廊进出标记分装室，工作结束后原路返回。

查房时医护人员通过病房楼电梯厅，乘坐电梯上楼，到达八层病房区域，沿患者走廊进入  $^{90}\text{Y}$  患者病房内进行查房。

### （二）患者路径

患者从北侧病房梯入口由工作人员推床沿洁净走廊进入介入手术室 DSA5 内部进行手术。手术完成后，从介入手术室 DSA5 西侧防护门离开 DSA 机房，经过洁净走廊，通过手术专用电梯进入患者病房休息，等待医护人员叫号通知。待医护人员通知后，跟随医护人员通过 1 号楼电梯到达核医学科，通过 SPECT/CT 机房东侧防护门进入机房，进行显像扫描。扫描确认后由专人护送患者离开核医

学科，从1号楼电梯厅乘坐电梯返回八层患者病房。DSA机房内核素操作完成后，放射工作人员拟对整个机房进行表面污染测定，确认无表面污染后，方可进行其他手术。

### （三）放射性药物路径

$^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗使用的核素为外购单支成品药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科贮源库，核医学科安排专人接收药物。核医学科工作人员将放射性药物根据患者手术要求在分装注射间进行分装、测活（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不进行分装）。测活完成后，由工作人员在手术前将药物连同铅罐通过核医学科专用电梯直接运输至2号楼三层，沿洁净走廊进入机房，将药物暂存于储源柜中。

### （四）污物路径

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。以上固体废物产生后由专人收集后，暂存于废物间铅桶内。住院病房内放射性废物，待患者出院后，在下班时段将放射性废物打包运输至核医学科废物库内暂存。

本项目 $^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗部分人员路线图见图9-4~图9-5。

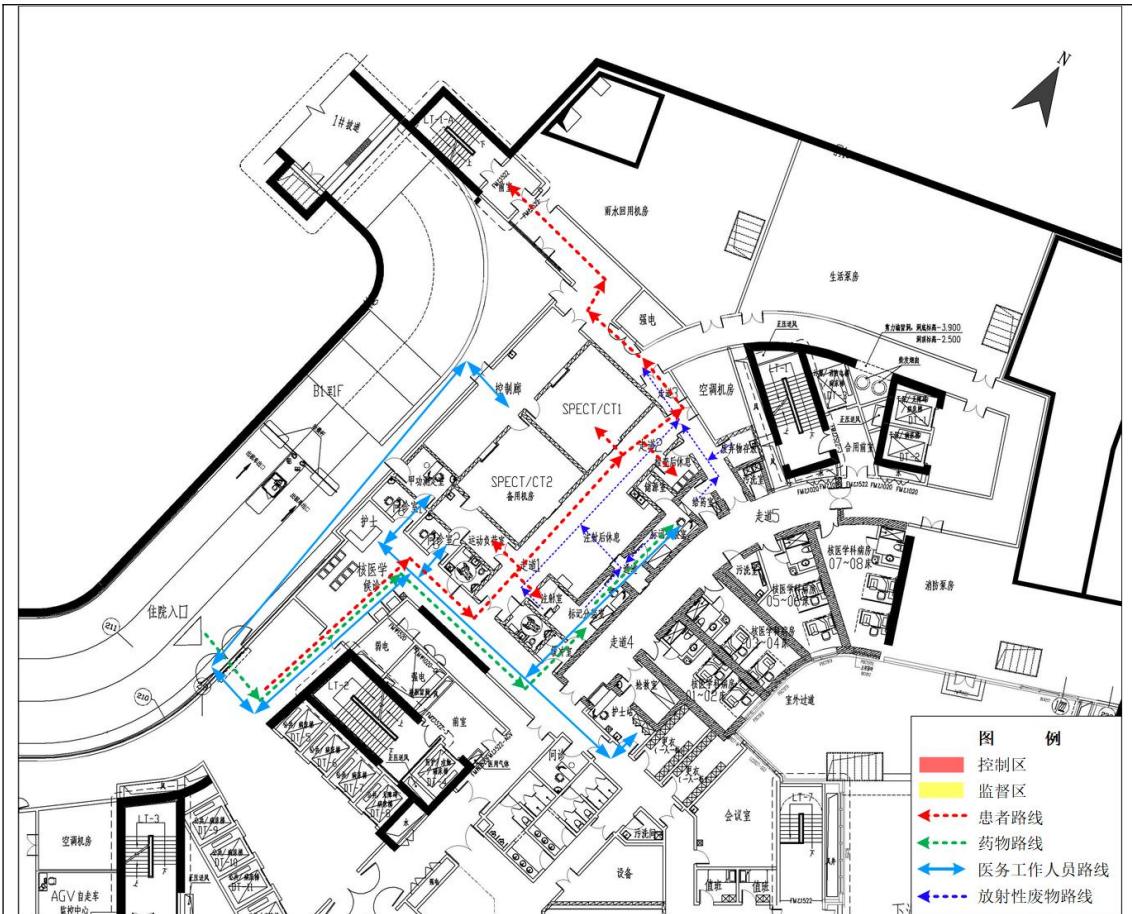


图 9-4 本项目核医学科治疗项目人流物流图

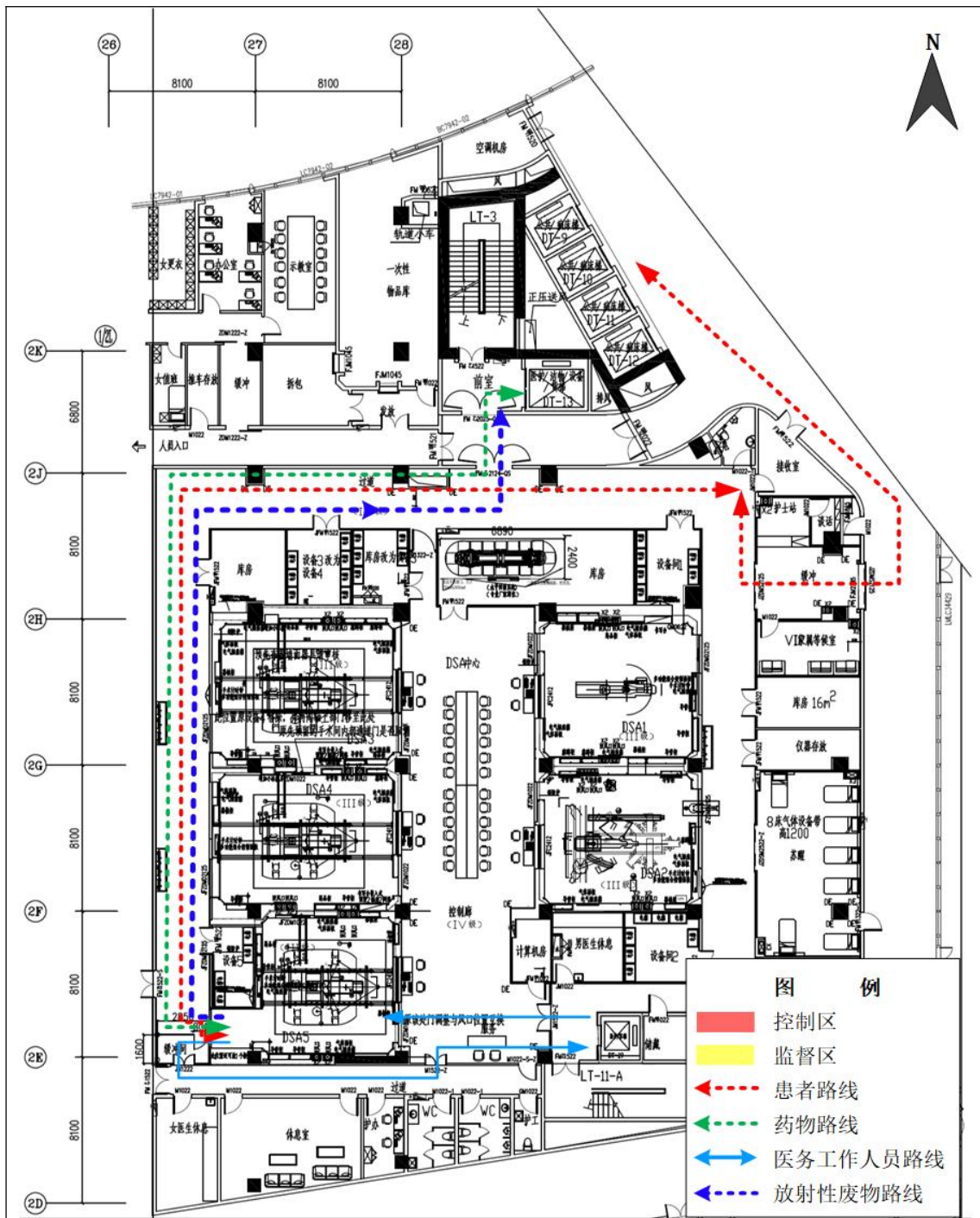


图 9-5 本项目介入科人流物流图

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 拟开展 $^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗部分

#### 一、正常工况

##### (一) $\gamma$ 射线和 $\beta$ 射线

本项目使用  $^{90}\text{Y}$  进行肿瘤治疗，使用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  进行肿瘤治疗前 SPECT/CT 显像扫描。

放射性核素  $^{90}\text{Y}$  为纯 $\beta$ 衰变，在衰变过程中仅产生 $\beta$ 射线以及 $\beta$ 射线在与物质作用产生的韧致辐射。放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  在衰变过程中释放 $\gamma$ 射线， $\gamma$ 射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响。因此 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线及其产生的韧致辐射是核素使用过程中的主要污染因子。

#### （二） $\beta$ 放射性表面污染

放射性核素  $^{90}\text{Y}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  操作过程中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 $\beta$ 放射性表面污染。

#### （三）放射性废气

本项目放射性药物  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{90}\text{Y}$  为非挥发性核素，待注射前放置于铅罐中，注射时药物在针筒或西林瓶内，在正确的操作过程中无开放液面，因此其产生的气溶胶量极少，不会对周围大气环境产生明显影响。

#### （四）放射性废水

本项目 DSA5 机房介入手术工作人员手术过程中均穿戴手术服和一次性手套，手术台面和地面均铺有吸水纸，若出现手术过程中核素撒漏，工作人员需脱掉手术服、收集手术台面和地面吸水纸并用吸水纸进行去污。如发生特殊情况，工作人员可使用 DSA 机房西侧缓冲间进行紧急冲洗，缓冲间洗手池设置阀门可将放射性废水使用专用容器单独收集，每次冲洗产生的废水量为  $0.01\text{m}^3$ ，若一年三次，则年产水量为  $0.03\text{m}^3/\text{a}$ 。

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）可知，患者在接受  $^{90}\text{Y}$  树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中  $^{90}\text{Y}$  核素总活度最大为  $3.11 \times 10^5 \text{Bq}$ ，因此低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度（ $7.41 \times 10^6 \text{Bq}$ ）的相关要求， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  给药量小于  $^{90}\text{Y}$ ，且半衰期更短，因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑，住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

#### （五）放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。

本项目每年 DSA5 机房最多开展 120 台  $^{99m}\text{Tc}$  诊断筛查（第一阶段）及 60 台  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗（第二阶段）手术，参考《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），放射性固体废物产生量保守按 2kg/例考虑，每例  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗患者需经过两个阶段的手术，保守各阶段手术产废为 1kg/台手术计，则本项目  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗过程 DSA 场所放射性固废产生量为 180kg/a，放射性固废产生后收集于机房内设计的铅桶中，待手术结束后转移至核医学科污物间铅污物桶内暂存。

住院患者产生的废物主要是住院患者产生的医疗废物，按照每人每天 0.5kg 产生量进行估算。本项目每年最多开展 60 例  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗，每位患者保守按  $^{99m}\text{Tc}$ （即第一阶段）住院 1 天， $^{90}\text{Y}$ （第二阶段）住院 2 天计，则患者住院治疗产生的放射性固废的产生量为 180kg/a，放射性固废产生后收集于病房内铅桶中，待患者出院后派专人收集并转移至核医学科污物间铅污物桶内暂存。

## 二、DSA和SPECT/CT配套用射线装置污染源项分析

本项目 $^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗需依托DSA机房内1台DSA（属于II类射线装置）和核医学科SPECT/CT机房内1台SPECT/CT（属于III类射线装置）。由X射线装置的工作原理可知，X射线随机器的开、关而产生和消失。医院使用的X射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出X射线。因此，在开机期间，污染因子主要为X射线，同时会产生少量臭氧和氮氧化物。

## 三、非正常工况

①DSA 机房或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房或滞留在机房内，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染

④医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

### 9.2.3 “三废” 污染

### 一、废气

本项目运行过程中，射线与空气作用产生少量臭氧和氮氧化物。

### 二、废水

主要为本项目工作人员产生的生活污水。

### 三、固体废物

主要为本项目工作人员产生的生活垃圾、手术过程中产生的污染纱布绷带等废敷料，一次性手套、废弃的药品及器具等医疗废物。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 工作场所布局合理性分析

本项目<sup>90</sup>Y肿瘤治疗依托介入手术室DSA5机房及其配套用房和核医学科区域形成一个整体的<sup>90</sup>Y肿瘤治疗工作场所，用于开展肿瘤治疗，并将1号楼八层37~38床病房作为本项目<sup>90</sup>Y患者病房）。

介入手术室DSA5机房位于1号楼三层，机房东侧为控制廊，南侧为洁净通道，西侧为缓冲间、洁净通道及设备室，北侧为DSA 4室，机房正上方为手术中心，正下方为检验科大厅。

核医学科 SPECT 区域工作场所位于 1 号楼地下负一层，东侧为下沉中庭室外过道、消防泵房、室内过道及消防水池，南侧为科室会议室、电梯间及室内过道，西侧为行车道，北侧为电梯间、生活泵房及室内过道，楼上为 1 号楼办公室、超市、卫生间及大厅室内过道，楼下为停车场。

<sup>90</sup>Y患者病房位于1号楼八层37~38床病房，东侧为35~36床病房，南侧为临空，西侧为39~40床病房，北侧为室内过道，楼上、楼下均为其他病区。

<sup>90</sup>Y 肿瘤治疗辐射工作场所位置及四周布局见表 10-1。

表 10-1 各场所周围毗邻情况一览表

所在区域	功能用房名称	四周及楼上、楼下对应场所情况					
		东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
1 号楼 负一楼 核医学科 SPECT 区域工作场所	SPECT/CT 1 室	受检者通道	SPECT/CT2 室（预留）	控制廊	受检者通道	办公室	地下停车场
	甲功测定室	运动负荷室	问诊室 1	室外过道	控制廊	大厅过道	地下停车场
	运动负荷室	受检者通道	问诊室 2 及卫生间	甲功测定室	SPECT/CT2 室（预留）	大厅过道	地下停车场
	注射室	标记分装室（锝）	专用卫生间	受检者通道	注射后休息区	大厅过道	地下停车场
	标记分装室（锝）	病人通道	缓冲室	注射室	受检者通道	大厅过道	地下停车场
	注射后休息区	病人通道	注射室及受检者通道	SPECT/CT 1 室	受检者通道	大厅过道及出入院	地下停车场

						办理	
	检查后休息室	给药室	储源室	受检者通道	受检者通道	大厅过道	地下停车场
2号楼三层	介入手术室 DSA5	控制廊	清洁通道	缓冲间、清洁通道及设备室	DSA4	手术中心	检验科大厅
1号楼八层	37~38床病房	35~36床病房	临空	39~40床病房	室内过道	9A/9B病区	7A/7B病区

### 10.1.2 非密封放射性物质工作场所分级、分类

#### 一、非密封放射性物质工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）：医疗机构使用<sup>99m</sup>Tc相关活动视为“很简单的操作”。

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）：可将医疗机构<sup>90</sup>Y核素介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单的操作”。

经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见下表。

表 10-2 现有核医学科场所日最大等效操作量计算表

工作场所	核素名称	最大日操作量 (Bq)	日等效最大操作量	分级
核医学	F-18	$7.4 \times 10^9$	$7.4 \times 10^6$	乙级
	Sr-89	$3.7 \times 10^8$	$3.7 \times 10^7$	
	Tc-99m	$4.63 \times 10^{10}$	$4.63 \times 10^7$	
	I-131	$2.59 \times 10^{10}$	$2.59 \times 10^9$	
	Sm-153	$3.7 \times 10^9$	$3.7 \times 10^8$	
	F-18	$4.44 \times 10^{10}$	$4.44 \times 10^8$	
	C-11	$2.96 \times 10^{10}$	$2.96 \times 10^8$	
	C-11	$1.85 \times 10^9$	$1.85 \times 10^6$	
合计			<b><math>3.79 \times 10^9</math></b>	

表 10-3 本项目放射性药物日最大等效操作量计算表

工作场所	核素名称	计划最大日操作量	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量	分级
<sup>90</sup> Y 肿瘤治疗工作场所（核医学科或 DSA 机房）	<sup>90</sup> Y	$3.0 \times 10^9$ Bq	0.1	10	$3.0 \times 10^7$ Bq	乙级
	<sup>99m</sup> Tc	$1.85 \times 10^8$ Bq	0.01	10	$1.85 \times 10^5$ Bq	
	合计				$3.01 \times 10^7$ Bq	

注：<sup>90</sup>Y 和 <sup>99m</sup>Tc 不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。

核素 <sup>90</sup>Y 的分装、测活和 <sup>99m</sup>Tc 的测活及术后患者的诊断扫描需在核医学科诊断场所内进行，纳入核医学科管理。核医学科诊断场所原非密封放射性核素日

等效最大操作量为  $3.79 \times 10^9 \text{Bq}$ ，新增使用本项目核素  $^{90}\text{Y}$  后，核医学科诊断场所非密封放射性核素日等效最大操作量为  $3.82 \times 10^9 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

核素  $^{90}\text{Y}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的导管注射需在 2 号楼三层介入手术室 DSA5 机房及其配套用房内进行，结合《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）符合性分析，将介入手术室 DSA5 及其配套用房作为非密封放射性物质工作场所管理，非密封放射性核素日等效最大操作量为  $3.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，为乙级非密封放射性物质工作场所。

## 二、非密封放射性物质工作场所分类

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表 10-4。

表 10-4 工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素发的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-5 和 10-6。

表 10-5 常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	权重系数
A	$^{75}\text{Se}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{153}\text{Sm}$	100
B	$^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{13}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111}\text{In}$ 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 $^{123}\text{I}$ 、 $^{201}\text{Tl}$	1
C	$^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 $^{127}\text{Xe}$ 、 $^{133}\text{Xe}$	0.01

表 10-6 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	修正系数
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

按照表 10-5，本项目各场所核素权重活度计算结果见表 10-7。

表 10-7 介入手术室 DSA5 机房与 <sup>90</sup>Y 患者病房非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
DSA5	<sup>90</sup> Y	100	1	3×10 <sup>9</sup>	3×10 <sup>11</sup>	3×10 <sup>11</sup>	I 类
	<sup>99m</sup> Tc	1	1	1.85×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>		

注：<sup>90</sup>Y 和 <sup>99m</sup>Tc 不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。

本项目 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗工作场所中介入手术室 DSA5、核医学科均属于 I 类工作场所，对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表 10-8。

表 10-8 按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

注<sup>a</sup>：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

注<sup>b</sup>：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

医院现有核医学科已按表10-8的要求，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如PVC胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

### 10.1.3 辐射防护分区原则及区域划分

#### 一、分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

**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。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应

的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和门灯联锁装置）限制进出控制区，并定期检查控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或是更改该区的边界。

**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，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌；并定期检查该区工作状况，确认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。

## 二、分区管理情况

本项目核医学科、DSA 机房均为利旧场所，项目建成后，将不会对工作场所的布局和分区产生影响，放射工作场所按现有分区方式管理。对于 1 号楼八层涉及的  $^{90}\text{Y}$  树脂微球治疗专用病房，建设单位拟将其划分为临时控制区，与其紧邻区域划分为临时监督区。根据上述原则，结合现有核医学科管理分区情况及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）辐射工作场所分区的相关要求，本项目两部分辐射工作场所控制区和监督区划分情况见表 10-9。

表 10-9 本项目“两区”划分表

场所名称	控制区	监督区
核医学科 SPECT/CT 场所	标记分装室、给药室、注射后休息区、检查后休息室、储源室、SPECT/CT1 机房、受检者通道、甲功测定室、运动负荷室等核医学科 SPECT/CT 场所内部区域	SPECT/CT2 机房、医护走廊、控制廊、问诊室及控制区实体屏蔽周边范围
2 号楼三层	介入手术室 DSA5 机房内部	控制廊、设备间、缓冲间、介入手术室 DSA4、洁净通道及控制区实体屏蔽周边 30cm 范围
1 号楼八层	$^{90}\text{Y}$ 患者 37~38 床病房	35~36 床病房、39~40 床病房、控制区实体屏蔽周边 30cm 范围



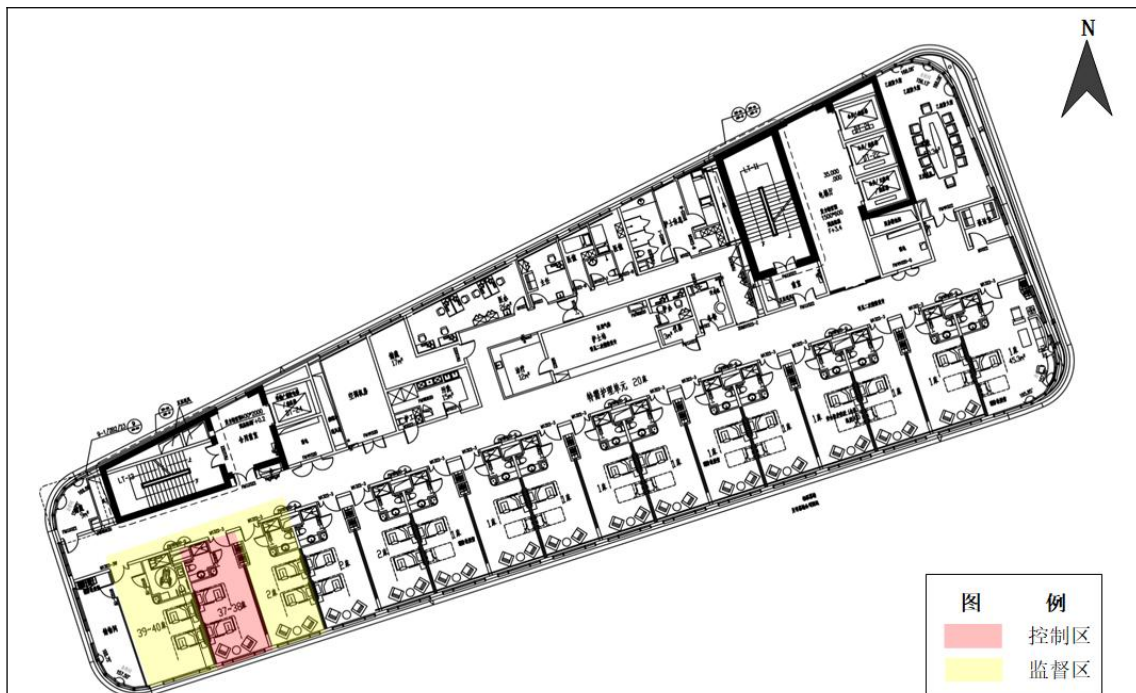


图 10-3 1 号楼八层两区划分图

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

(1) 控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- ②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；
- ④在进入分装注射室前卫生通过间应有个人防护用品、工作服、表面污染监测仪、消洗设施和被污染防护衣具的贮存柜等；
- ⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

(2) 监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区的边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

#### 10.1.4 工作场所屏蔽防护设计

根据医院提供资料，本项目  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗工作场所现有辐射防护屏蔽参数见表 10-10。

表 10-10 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗辐射工作场所已做的屏蔽防护措施分析

工作场所	屏蔽体	现有防护设施情况
SPECT/CT 1 室	四周墙体	240mm 实心砖+5mmPb 防护钡砂
	顶棚	350mm 混凝土
	地坪	250mm 混凝土
	防护门	5mmPb 铅板
	观察窗	6mmPb 铅玻璃
标记分装室（钨）	东墙	500mm 混凝土
	北墙	500mm 混凝土
	西、南墙	240mm 实心砖+5mmPb 硫酸钡涂料
	顶棚	350mm 混凝土
	地坪	250mm 混凝土
	防护门	5mmPb 铅板
检查后休息室	东墙	420mm 混凝土
	其余墙体	240mm 实心砖+5mmPb 硫酸钡涂料
	顶棚	350mm 混凝土
	地坪	250mm 混凝土
	防护门	5mmPb 铅板
储源室	四周墙体	240mm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料
	顶棚	350mm 混凝土
	地坪	250mm 混凝土
	防护门	5mmPb 铅板
废弃物存放室	东墙	300mm 混凝土
	其余墙体	240mm 实心砖+5cm 硫酸钡涂料
	顶棚	350mm 混凝土
	地坪	250mm 混凝土
	防护门	5mmPb 铅板
DSA 5 室	四周墙体	240mm 实心砖+4mmPb 铅板

	顶棚	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	地坪	120mm 混凝土+3mmPb 铅板
	防护门	内衬 4mmPb 铅板
	观察窗	5mmPb 铅玻璃
37~38 床病房	南、北墙	120mm 实心砖
	东、西墙	轻质隔墙
	顶棚、地坪	120mm 厚混凝土
注：根据医院提供资料，硫酸钡防护材料（硫酸钡砂）密度 2.79g/cm <sup>3</sup> ，铅板 11.3g/cm <sup>3</sup> ，混凝土密度不低于 2.35g/cm <sup>3</sup> ，实心砖密度不低于 1.65g/cm <sup>3</sup>		

本项目 <sup>90</sup>Y 患者病房中放射性污染源主要来源于患者体内的放射性药物，患者在注射药物后在手术位置盖有 0.5mmPb 铅方巾，且药物的单次注射量较小，病房南侧临空（16#病房东侧临空），西侧、楼上和楼下为普通病房，北侧为物品存放间、避难间，根据表 11 预测分析，病房周边辐射剂量率满足相关职业人员与公众的年有效剂量满足相关标准要求，故本项目病房四周墙体仍采用原有轻质墙体结构，不增加额外防护。

### 10.1.5 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗工作场所辐射安全和防护、环保相关设施

#### 一、核医学科诊断场所区域辐射安全措施

①SPECT/CT 机房防护门上方已设有工作状态指示灯，灯箱上设置了“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并设置门灯连锁装置，机房与控制室之间设置了对讲装置与监视器。

②在 SPECT/CT 机房防护门、分装注射室防护门、贮源室防护门、通风柜、衰变桶等处已设有电离辐射警告标志；监督区和控制区入口均设置了警示标识，场所内设置导诊路径。

③核医学科进出防护门均设有单向门禁（只进不出或只出不进），可防止带药受检者随意进出和无关人员滞留或误入。SPECT/CT 控制室内设有监视和对讲系统，受检者通道内的相应位置设置有视频监控系统，监控显示屏设置在控制室内，工作人员能够及时掌握患者状态和活动情况，及时发现突发情况并及时进行处理。

④核素操作在独立的通风柜内进行，通风柜材质主要为铅板，正面为观察窗，通风柜已设有独立排风管道，排放风速不低于 0.5m/s，排风系统内设置了专用活

性炭吸附装置，排风口位置位于 1 号楼屋顶，符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中对通风系统的设置要求。

⑤卫生通过间、药物分装注射室清洗池、显像扫描患者专用厕所洗手台均已设置感应式水龙头。

⑥源室保险柜已实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。药物交接过程实行双人交接，对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

## 二、介入手术室 DSA5 机房区域辐射安全措施

①本项目介入手术室 DSA5 机房所用的 DSA 从正规厂家购买，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线设备防护性能的技术要求，设备本身采取了多种固有安全防护措施。

②门灯联锁：机房防护门上方已设置醒目工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。防护门设有自动闭门装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

③急停装置：手术床旁已设置急停开关（各开关分别与 X 射线系统连接）。

④视频监控和对讲装置：在 DSA 机房与控制室之间设有 1 套视频监控和对讲装置，工作人员通过对讲机与机房内的手术人员联系，同时可以实时监控机房内情况。

⑤警告标志：DSA 机房门外醒目位置设有电离辐射警告标志和中文说明。

⑥DSA 机房受检者防护门为电动推拉门，且设有防夹装置，工作人员防护门为平开门，设置有自动闭门装置。

⑦机房受检者出入口门外已设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域。防护门外的醒目位置设置明显的电离辐射警告标志，电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求。

⑧介入手术室 DSA5 机房内设置独立排风系统，排风口位置位于 2 号楼，能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

⑨每次机房内核素操作完成后，辐射工作人员应对整个机房进行表面污染测定，确保无表面污染，若发现表面污染，须用放射性表面去污用品和试剂进行去

污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

### 三、1 号楼 37~38 号病房区域辐射安全措施

①<sup>90</sup>Y 发出的β射线最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.934MeV。在人体组织中的最大射程约 11mm，射线影响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：如果需要更换输注药物部位/伤口的敷料，护理人员应佩戴手套。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。

②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，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。

③<sup>90</sup>Y 患者专用病房门外醒目位置设置电离辐射警告标志和中文说明，门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

### 四、放射性药物的存放控制措施

本项目使用的放射性药物提前向供药厂家订购，供药厂家在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科贮源室，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贮源室铅箱内。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理，并建立健全放射性药物的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性药物的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

### 五、表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善贮存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，手术台面和地面需铺垫吸水纸，工作人员需穿手术服，

防止放射性药物撒漏；

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

⑤患者病房在患者出院之后应当使用表面污染监测仪器对病房内部进行表面污染监测，并使用放射性表面去污用品和试剂进行清洗去污。

## 六、人员防护措施

### （一）辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

**屏蔽防护：**通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品。<sup>99m</sup>Tc 注射器配备注射防护套防护和注射器铅防护盒，<sup>90</sup>Y 注射器配备有机玻璃和注射器防护盒。

**时间防护：**在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

**距离防护：**在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

### （二）其他人员防护

**屏蔽防护：**辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

**时间防护：**设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

**距离防护：**设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

## 七、操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品核素操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼

镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。

分装、测活时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液撒漏造成操作台污染，分装、测活时工作人员与药品之间采用观察窗隔挡。核医学科分装注射间内设有废物铅桶，用于暂时收集放射性固体废物。医护人员进行注射时，<sup>99m</sup>Tc 注射器配备注射防护套防护和注射器铅防护盒，<sup>90</sup>Y 注射器配备有机玻璃和注射器防护盒。

#### **八、对注射后患者防护措施**

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在辐射工作场所内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时要求患者在手术后在专用病房内静候，禁止随意走动，并在患者腹部盖有 0.5mmPb 铅方巾。注射后的患者移动路径为：介入手术室 DSA5 机房→核医学科 SPECT/CT 机房→<sup>90</sup>Y 患者病房，当患者在本项目相关的机房、病房内进行手术、扫描、术后观察时，防护措施主要依靠机房、病房的屏蔽防护以及房间内配备的防护设备和防护用品；当患者在本项目各个场所之间转运时，防护措施主要依靠盖在患者手术部位的 0.5mmPb 铅方巾以及陪护人员的正确引导。

#### **九、放射性药物和注射后患者转移过程的防护措施**

根据医院规划，在本项目 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗实际开展过程中，医院拟采取时间防护及空间防护两方面对放射性药物和注射后患者转移过程进行防护。放射性核素院内运输时应配备 2 名保安押运护送，2 名保安应警戒于专用小推车两侧，防止院内公众人员接近。

##### **（一）时间防护**

本项目 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗手术均安排于下午 5 点或其他人流量较少的时段，尽可能减少对公众的影响。

##### **（二）空间防护**

本项目药物在核医学科测活后，由专人将药物连同铅罐通过核医学科专用电梯直接进入介入手术室 DSA5 手术区；患者在导管手术结束后，在专人陪护下穿过洁净通道乘坐专用电梯，向进入 37~38 号床专用病房或向下直达核医学科，其中洁净通道位于手术区内，非手术人员不可进入，可极大程度避免注射后患者与

其他人员的接触。

### 十、防护设备与防护用品

本项目  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗依托 1 号楼地下一层核医学科场所、2 号楼三层介入手术室 DSA5 机房及 1 号楼八层原 37~38 床病房，并新增使用核素  $^{90}\text{Y}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。建设单位结合本项目的情况，目前依托场所已配套防护用品/设施见表 10-14，建设单位拟新增配置的防护用品见表 10-15。八层原 37~38 床病房和 2 号楼三层介入手术室 DSA5

**表 10-11 核医学科 SPECT 显像区域和核素治疗区域和 DSA 机房已配备的防护用品/设施一览表**

核医学科 SPECT 显像区域和核素治疗区域				
序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	通风柜	2 个标记分装室	2 套	50mmPb (碘) 20mmPb (锑)
2	铅污物桶	标记分装室、给药室、废弃物存放室	4 个	10mmPb (碘) 5mmPb (锑)
3	储源防护保险箱	储源室	3 个	10mmPb
4	注射台	注射室	1 套	10mmPb
5	注射器防护套	标记分装室	5 个	3mmPb
6	注射器单支剂量转运罐	标记分装室	5 个	5mmPb
7	储源铅防护罐	标记分装室	2 个	25mmPb
8	注射器转运注射防护罐	标记分装室	2 个	25mmPb
9	数字化辐射环境监控系统	核素治疗区域及废弃物存放室	1 套共 8 个探头	/
10	表面污染监测仪	标记分装室及护士站 (核医学科共用)	2 台	/
11	环境监测仪	标记分装室及护士站 (核医学科共用)	3 台	/
12	移动铅防护屏	SPECT/CT 1 室	1 块	10mmPb
13	铅橡胶防护衣	缓冲室	3 套	0.5mmPb
14	铅橡胶颈套	缓冲室	3 套	0.5mmPb
介入手术室 DSA5				
序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	铅悬挂防护屏	DSA 机房	1 套	0.5mmPb
2	铅防护吊帘		1 套	0.5mmPb
3	床侧防护屏		1 套	0.5mmPb
4	床侧防护帘		1 套	0.5mmPb

**表 10-12  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗工作场所拟新增的防护用品/设施一览表**

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	输送装置防护	核医学科 SPECT 显像区域	1 个	/
2	转运瓶铅罐		1 个	6~10mmPb

3	V型瓶有机玻璃V型架	介入手术室 DSA5	1个	15mm有机玻璃
4	有机玻璃注射器防护套		1个	15mm有机玻璃
5	有机玻璃污物桶		1个	10mm有机玻璃+1mmPb
6	有机玻璃利器盒		1个	10mm有机玻璃
7	铅污物桶		1个	2mmPb
8	有机玻璃污物桶		1个	10mm有机玻璃
9	铅方巾		1个	0.5mmPb

### 10.1.6 设置情况合理性分析

本项目设置情况与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的对照分析见表 10-13。

表 10-13 本项目与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对照分析表

《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	本项目情况	是否符合要求
核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	本项目利用 2 号楼三层介入手术室 DSA5 机房，采用时间错峰方式进行工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径管理，每次只允许工作人员、患者、放射性药物和放射性废物单一通过，建设单位拟为本项目配备 2 名保安进行通道严格管控。通过上文述措本项目介入手术室 DSA5 机房人流、物流能满足分开通过，并且人员与放射性药物通道不交叉的要求。	符合
核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣服、防护用品，冲洗设施和表面污染的监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	① <sup>90</sup> Y微球治疗项目当天，医院拟配备2名保安值守在介入手术室DSA5机房防护门门口，无关人员不得随意进出介入手术室DSA5机房；②给药后的患者处于麻醉状态，不会随意流动；③本项目在介入手术室 DSA5 机房西侧设置了1间卫生通过间，为工作人员提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备；④本项目 <sup>90</sup> Y微球治疗项目过程中患者处于麻醉状态，患者不排泄。	符合
放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。	本项目 <sup>90</sup> Y使用前暂存于1号楼负一层核医学科分装通风柜内，分装通风柜设置有铅当量屏蔽。	符合

核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	本项目介入手术室DSA5机房地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。	符合
应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	①本项目从事放射性药物操作的工作人员配备有铅衣、铅围脖、一次性工作服、手套等；②本项目 <sup>90</sup> Y药物配有15mm厚有机玻璃注射防护套；③核医学科内设置有移动铅屏风。	符合
操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	本项目在介入手术室DSA5机房西侧设置了1间卫生通过间，并配备表面污染监测仪器，制定了监测方案，从介入手术室DSA5机房控制廊离开的人员和物品均进行表面污染监测。如果监测表面污染水平超出控制标准，工作人员应使用配备的去污用品进行表面污染去污处理，等表面污染水平降低至控制标准以下时，方能离开。	符合
放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	本项目使用的药物均为短半衰期核素，般按需求订购，集中使用，不专门贮存，购买后使用前暂存于1号楼负一层核医学科分装通风柜内。	符合

综上所述，本项目乙级非密封放射性物质工作场所（介入手术室 DSA5）满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的相关要求。

## 10.2 本项目法规符合性分析

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，现对复旦大学附属中山医院厦门医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-14 和表 10-15 中。

### 10.2.1 与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

表 10-14 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-14 安全与防护能力对照检查情况

安全和防护管理办法要求	建设单位情况	符合情况
<b>第五条</b> 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其出口处应当按照国家有关安	医院 SPECT/CT 机房和 DSA 机房前期防护门已设置工作状态指示灯，机房防护门已设置门机联锁装置，工作场所设置钥匙开关、急停按钮、紧急开门按钮、通风系统、监视对讲等安全措施	符合

全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号		
<b>第九条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测	医院以前每年委托有资质单位进行 1 次辐射工作场所和环境辐射水平监测，监测数据记录存档。本项目实施后，仍每年委托有资质单位进行 1 次辐射工作场所和环境辐射水平监测。医院将每年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告	符合
<b>第十二条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告	医院在每年 1 月 31 日前向“全国核技术利用辐射安全申报系统”提交上一年度的辐射安全与防护状况年度评估报告	符合
<b>第十七条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的不得上岗	医院现有辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核或生态环境部门认可的培训机构组织的辐射安全和防护培训考核，并取得了合格证书	符合
<b>第二十三条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	已为所有从事辐射工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度 1 次）	符合
<b>第二十四条</b> 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测	委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测	符合

复旦大学附属中山医院厦门医院承诺将按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求采取辐射安全和防护管理措施，医院在落实上述各项措施后可满足管理办法要求。

#### 10.2.2 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-15 安全与防护能力对照检查情况

要求	建设单位落实情况	符合情况
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	已成立辐射防护领导小组，并在该机构设有 专职管理人员	符合
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。	医院现有辐射工作人员均已通过辐射安全 与防护考核或生态环境部门认可的培训机 构组织的辐射安全和防护培训考核，并取 得了合格证书；本项目拟配备的辐射工作 人员均已通过辐射安全与防护考核，可上 岗从事辐射工作。	符合
放射性同位素与射线装置使用场 所有防止误操作、防止工作人员和 公众受到意外照射要求的安全措 施。	本项目配套的各机房门口等辐射工作场 所的显著位置处已设置放射性警告标识和 中文警示说明，安装机房指示灯，设置 门灯联锁、紧急停止按钮等	符合
配备与辐射类型和辐射水平相适 应的防护用品和监测仪器，包括个 人剂量测量报警、辐射监测等仪 器。	本项目已配备便携式 X-γ 剂量率仪、个 人剂量报警仪和固定式剂量率监测仪	符合
有健全的操作规程、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、人员培训计划、监测方案等。	医院拟根据本项目建设内容，拟完善现 有的规章制度、操作规程、岗位职责及 辐射防护和安全保卫制度、设备检修 维护制度、监测方案等。	落实 后符 合
有完善的辐射事故应急措施。	医院将根据本项目内容，进一步制定 和完善辐射事故应急预案。	近期 符合

以上分析可知，复旦大学附属中山医院厦门医院从事本项目辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

### 10.3 三废的治理

#### 一、放射性废气

本项目放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{90}\text{Y}$  为非挥发性核素，待注射前放置于铅罐中，注射时药物在针筒或 V 型瓶内，在正常操作过程中无开放液面，因此其产生的气溶胶量极少，不会对周围大气环境产生明显影响。

本项目  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗依托介入手术室 DSA5 机房及其配套用房和核医学科区域形成一个整体的  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗工作场所，依托现有介入手术室 DSA5 和核医学科废气排放系统对  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗放射性废气进行处理。

$^{99m}\text{Tc}$  的测活过程、 $^{90}\text{Y}$  的分装、测活过程在核医学科分装注射室的通风柜内进行，通风柜设计排放风速不低于 0.5m/s，排风口位于 1 号楼楼顶，排气口高出所在建筑屋脊，并做好防雨防风倒灌措施。排风口和送风口均设置风量调节阀，

通过调节风量保证通风柜内为负压，空气流动由低浓度向高浓度区的流向。核医学排风系统所使用的排风过滤器定期更换，更换下来的过滤器存到放射性废物贮存室内，待其放射性衰变到豁免值以下时，再按医疗废物作最终处置。

DSA 运行时产生的少量氮氧化物和臭氧，通过介入手术室 DSA5 机房内设置的通风系统进行通风换气，工作时均开启，防止介入手术室 DSA5 机房内空气中臭氧和氮氧化物等有害气体累积，故产生的少量氮氧化物和臭氧对周围环境空气质量和辐射工作人员影响极小。

## 二、放射性废水

本项目介入手术室 DSA5 介入手术工作人员手术过程中均穿戴手术服和一次性手套，手术台面和地面均铺有吸水纸，若出现手术过程中核素撒漏，工作人员需脱掉手术服、收集手术台面和地面吸水纸并用吸水纸进行去污。如发生特殊情况，工作人员可使用介入手术室 DSA5 西侧缓冲间洗手池进行紧急冲洗，洗手池设置阀门可将放射性废水排入有机玻璃+铅材质的专用容器中单独收集。本项目装有放射性废水的专用容器暂存于核医学衰变池衰变，待放射性废水贮存超过 30 天后，满足 HJ1188-2021 及其相关条款的复函要求后排入院内污水处理设施达标纳管。

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）可知，患者在接受  $^{90}\text{Y}$  树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中  $^{90}\text{Y}$  核素总活度最大为  $3.11 \times 10^5 \text{Bq}$ ，因此低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度（ $7.41 \times 10^6 \text{Bq}$ ）的相关要求，病房及住院患者不涉及  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素，因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑，住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

## 三、放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。

针对该部分污染物，建设单位拟采取以下处理方案：

①介入手术室 DSA5 内新增设置 1 个 2mmPb 铅污物桶和 1 个 10mmPb 有机

玻璃污物桶。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。

②每日工作结束后，将当日产生的废物分类转移至核医学科污物间铅污物桶内暂存，每袋放射性固废须注明核素种类、废物的类别、转入时间，做好台账记录。

③放射性固废待贮存超过 30 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$ 表面污染小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先分类收集在各自相关工作场所的专用废物桶内，再将放射性废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到废物间放射性废物衰变箱内，集中收储一段时间后再分类处理。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 612 号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

#### 四、噪声

医院拟依托 2 号楼三层介入手术室 DSA5 和 1 号楼负一层核医学科相关用房及 1 号楼八层原 37~38 床病房开展 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗。根据现场踏勘及与医院核实，本项目依托的现有设备均采用低噪声设备，设备基础设置了减振等措施，<sup>90</sup>Y 肿瘤治疗的实施对周围声环境影响较小。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 施工期环境影响分析

本项目利用现有 2 号楼三层介入手术室 DSA5 和 1 号楼负一层核医学科相关用房及 1 号楼八层原 37~38 床病房，施工期已完成，无施工期遗留环境问题。本项目拟在三层介入手术室 DSA5 机房西侧新增 1 间缓冲间，缓冲间建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体。项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工人员较少，施工期约为半个月，施工涉及的区域面积较小，施工期间以墙体建设和装修噪声为主，同时伴有少量固体废物和废水产生。本项目施工期间产生的噪声、固体废物、废水造成的影响均仅限于控制室范围内，对医院周边环境不会造成影响。

#### 11.1.2 声环境影响分析

本项目建设阶段的噪声来自缓冲间内部的施工、装修和设备安装调试等阶段，但本项目的建设期较短，对周围环境影响较小，且噪声会随施工结束而消失。因此，只要合理安排施工时间，对周围环境影响不大。

#### 11.1.3 环境空气影响分析

在整个建设阶段，扬尘来自电气安装、材料运输和装卸等施工活动，由于扬尘多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大，但土建工程结束后即可恢复。

#### 11.1.4 水环境影响分析

本项目建设阶段污水来自施工人员的生活污水和少量施工废水，对此，施工单位可依托医院现有的污水处理系统进行妥善处理。

#### 11.1.5 固体废物的影响分析

建设阶段固体废物主要为建筑垃圾和施工人员的生活垃圾。对于项目施工期产生的建筑垃圾，可回收利用的部分应尽量予以回收，不可回收的部分定点收集后由施工方统一运输至政府部门指定建筑垃圾储运消纳场。对于项目施工期产生的生活垃圾应分类堆放，交由环卫部门收集处置。建设单位应做好清运工作中的装载工作，防止固体废物在运输途中散落。

综上所述，本项目在建设阶段的环境影响具有暂时性、可逆性的特点。且因

本项目工程量较小，对室外环境和周边人群的影响较小，施工期的环境影响随着施工期的结束，环境影响也将消除。

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 <sup>90</sup>Y肿瘤治疗

#### 11.2.1.1 β表面污染环境的影响分析

β表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响。核素<sup>90</sup>Y在衰变过程中主要释放β射线，分支比为99.984%，其β射线的能量最大为2.284MeV，在人体组织中的最大射程约为11mm，在空气中很容易被物质阻挡，不会对周围环境产生明显影响。

#### 11.2.1.2 β射线辐射环境影响分析

依据《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），<sup>90</sup>Y发射的β粒子在不同物质中的射程如下表所示：

表 11-1 <sup>90</sup>Y 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 (g/cm <sup>3</sup> )	射程 (cm)
1	空气	7.36	1.293×10 <sup>-3</sup>	839
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(或组织)	6.66	1	1.1
6	塑料	/	1.4	0.79

本项目<sup>90</sup>Y主要为β衰变，根据上表11-2，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，以及11mm人体组织完全阻挡（人体组织厚度一般约2cm）。药物贮存、转运、使用过程，会使用屏蔽容器、器械及个人防护等措施，职业人员不会直接接触<sup>90</sup>Y，β辐射对工作人员以及公众的影响可以忽略。β射线被物质阻止时会产生韧致辐射，对周围环境产生辐射污染，本项目主要考虑<sup>90</sup>Y的韧致辐射影响，关注点位见图11-1、图11-2。

韧致辐射产生的剂量率：

根据《辐射防护导论》（方杰）P133 的计算方法，韧致辐射所致的剂量率按照下式计算。

$$D = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_e \times \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \times \frac{\mu_{en}}{\rho} \quad (11-1)$$

式中：

D—屏蔽层中的β射线产生的韧致辐射在 r(m)处空气中的吸收剂量率, Gy/h, 本评价取 Sv/Gy=1; 因β粒子的品质因数 Q 为 1, 吸收剂量率 H<sub>0</sub>= D·Q, 即数值上 H<sub>0</sub>= D, 单位 Sv/h;

E<sub>b</sub>—韧致辐射的平均能量, MeV, 本项目取 0.9348MeV;

μ<sub>en</sub>/ρ—平均能量为 E<sub>b</sub> 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数, m<sup>2</sup>/kg, 取自《辐射防护导论》附表 1, 本项目取 2.787×10<sup>-3</sup>m<sup>2</sup>/kg;

A—源活度, Bq;

Z<sub>e</sub>—屏蔽材料的原子序数;

r—计算点与源的距离, m。

有辐射屏蔽时, 随距离变化的空气吸收剂量率计算公式:

$$H = H_0 \times 2^{-dp/HVL} \quad (11-2)$$

式中:

H<sub>0</sub>—无辐射屏蔽时, 在距源 r 米处的空气吸收剂量率, μSv/h;

H—屏蔽减弱后, 在距源 r 米处的空气吸收剂量率, μSv/h;

HVL—半值层厚度, mm, 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<sub>γ</sub>为 1.0MeV 对应的半减弱层厚度, HVL<sub>铅</sub>=8.4mm, HVL<sub>混凝土</sub>=50mm, 砖的半值层按与混凝土的密度比值近似取值, 混凝土 (2.35g/cm<sup>3</sup>), 砖 (1.65g/cm<sup>3</sup>), 则 HVL<sub>砖</sub>=71.2mm。

dp—屏蔽层厚度, mm。

表 11-2 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗工作场所韧致辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强 (Bq)	屏蔽厚度	原子序数	D (μGy/h)	H(μSv/h)
1	标记分装室	取药位	0.3	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	15mm有机玻璃+6mmPb铅罐+20mmPb通风柜	5.85	5.44E+00	1.85E-01
		药物转运	1	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	30mm有机玻璃+6mmPb铅罐	5.85	1.96E+00	1.00E-01
2	SPE CT/	摆位处	1	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	0.5mmPb防护用品+5mmPb	6.66	2.23E+00	1.42E+00

	CT1 机房				铅屏风			
3		西侧观察窗外 30cm 处 (控制廊)	3.5	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	6mmPb铅玻璃	6.66	1.82E-01	1.11E-01
4		西侧防护门外 30cm 处 (控制廊)	4.2	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	5mm铅板	6.66	1.26E-01	8.36E-02
5		西侧墙体外 30cm处 (控制廊)	3.6	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	240mm实心 砖+5mmPb硫酸 钡防护涂 料	6.66	1.72E-01	1.53E-02
6		北侧墙体外 30cm处 (受检者通 道)	3.9	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	240mm实心 砖+5mmPb硫酸 钡防护涂 料	6.66	1.47E-01	1.30E-02
7		东侧墙体外 30cm处 (受检者通 道)	3.5	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	240mm实心 砖+5mmPb硫酸 钡防护涂 料	6.66	1.82E-01	1.62E-02
8		东侧防护门外 30cm 处 (受检者通 道)	3.6	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	5mm铅板	6.66	1.72E-01	1.14E-01
9		南侧墙体外 30cm处 (SPECT/C T2 室(预 留))	3.9	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	240mm实心 砖+5mmPb硫酸 钡防护涂 料	6.66	1.47E-01	1.30E-02
10		上方 30cm 处 (办公室)	4.3	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	350mm混凝 土	6.66	1.21E-01	9.42E-04
11		介入 手术 室 DS A5	药物注射 位	1	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	0.5mmPb铅 衣	5.85	1.96E+00
12	患者体外 1m处		1	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	0.5mmPb铅 方巾+0.5mm 铅衣	5.85	1.96E+00	1.80E+00
13	东侧墙体 外 30cm处 (控制廊)		3.8	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	240mm实心 砖+4mmPb 铅板	5.85	1.36E-01	9.42E-03
14	东侧观察 窗外 30cm 处(控制 廊)		3.9	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	5mmPb铅玻 璃	5.85	1.29E-01	8.52E-02
15	东侧铅门 外 30cm处 (控制廊)		4.4	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	4mm铅板	5.85	1.01E-01	7.27E-02
16	南侧墙体		4.8	<sup>90</sup> Y	240mm实心	5.85	8.50E-02	5.90E-03

		外 30cm处 (清洁通道)		3.0E+09	砖+4mmPb 铅板			
17		西侧墙体 外 30cm处 (设备间)	3.3	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	240mm实心 砖+4mmPb 铅板	5.85	1.80E-01	1.25E-02
18		西侧防护 门外 30cm 处 (缓冲间)	5.7	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	4mm铅板	5.85	6.03E-02	4.33E-02
19		北侧墙体 外 30cm处 (DSA4)	4.8	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	240mm实心 砖+4mmPb 铅板	5.85	8.50E-02	5.90E-03
20		上方 30cm 处(楼顶平 台)	3.5	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	120mm混凝 土+3mmPb铅 板	5.85	1.60E-01	2.36E-02
21		下方距地 面 170cm 处(手术 区)	3.3	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	120mm混凝 土+3mmPb铅 板	5.85	1.80E-01	2.66E-02
22	90Y 患者 37~ 38 床 病 房	查房位	1	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	0.5mmPb铅 方巾	6.66	2.23E+00	2.14E+00
23		西侧墙体 外 30cm处 (37~38 床 病房)	1.8	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	0.5mmPb铅 方巾	6.66	6.88E-01	6.60E-01
24		上方 30cm 处(9A/9B 病区)	3.6	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	120mm混凝 土+0.5mmPb 铅方巾	6.66	1.72E-01	3.13E-02
25		下方距地 170cm处 (7A/7B病 区)	3.3	<sup>90</sup> Y 3.0E+09	120mm混凝 土+0.5mmPb 铅方巾	6.66	2.05E-01	3.72E-02

注：实心粘土砖和硫酸钡按照密度折算成混凝土后，进行计算。本项目每周最多开展 1 天 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗，每天最多进行 1 例，因此病房按 1 人进行考虑。

根据预测结果，本项目 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗工作场所轍致辐射满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，控制区内人员居留因子小于 1/2 的场所周围剂量当量率小于 10μSv/h，通风柜和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，通风柜其他面周围剂量当量率小于 25μSv/h 的相关要求，对周围辐射环境影响较小。

### 11.2.1.3 放射性核素产生的γ射线辐射环境影响分析

<sup>90</sup>Y 肿瘤治疗工作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，按照点源模式进行估算，辐射剂量率估算公式见下式。其中 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗工作场所 γ 射线辐射主要源于 <sup>99m</sup>Tc，涉及 <sup>99m</sup>Tc 辐射剂量率估算相

关参数取值表见表 11-3。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots \dots \dots \text{ (式 11-3)}$$

式中：

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

$X$ ——屏蔽厚度，单位为 mm；

$A$ ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

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

$R$ ——参考点与放射源间的距离，m。

表 11-3 核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
铅什值层厚度 mm ( $\rho=11.3\text{t/m}^3$ )	1
混凝土什值层厚度 mm ( $\rho=2.35\text{t/m}^3$ )	110
硫酸钡什值层厚度 mm ( $\rho=2.79\text{t/m}^3$ )	93
砖什值层厚度 mm ( $\rho=1.65\text{t/m}^3$ )	160
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.0303
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.0207

根据式 11-3， $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗工作场所辐射剂量率计算结果见表 11-4，关注点位置见图 11-1~图 11-3。

表 11-4  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗工作场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强 (MBq)	屏蔽厚度	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1	标记分装室	取药位	0.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	6mmPb铅罐 +20mmPb通风柜	6.23E-25
		药物转运	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	6mmPb铅罐	5.61E-06
2	SPEC T/CT1 机房	摆位处	1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	0.5mmPb防护用品+5mmPb铅屏风	1.21E-05
3		西侧观察窗外 30cm处 (控制廊)	3.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	6mmPb铅玻璃	3.13E-07
4		西侧防护门外 30cm处 (控制廊)	4.2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	5mm铅板	2.17E-06
5		西侧墙体外 30cm处 (控制廊)	3.6	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	240mm实心砖 +5mmPb硫酸钡 防护涂料	2.45E-01
6		北侧墙体外 30cm处 (受检者通道)	3.9	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	240mm实心砖 +5mmPb硫酸钡 防护涂料	2.09E-01
7		东侧墙体外 30cm处 (受检者通道)	3.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 185	240mm实心砖 +5mmPb硫酸钡 防护涂料	2.60E-01

8		东侧防护门外 30cm处 (受检者通道)	3.6	<sup>99m</sup> Tc 185	5mm铅板	2.95E-06
9		南侧墙体外 30cm处 (SPECT/CT2室(预留))	3.9	<sup>99m</sup> Tc 185	240mm实心砖 +5mmPb硫酸钡 防护涂料	2.09E-01
10		上方 30cm处 (办公室)	4.3	<sup>99m</sup> Tc 185	350mm混凝土	1.36E-04
11	介入 手术室 DSA5	药物注射位	1	<sup>99m</sup> Tc 185	0.5mmPb铅衣	1.21E+00
12		患者体外 1m处	1	<sup>99m</sup> Tc 185	0.5mmPb铅方 巾+0.5mm铅衣	3.83E-01
13		东侧墙体外 30cm处 (控制廊)	3.8	<sup>99m</sup> Tc 185	240mm实心砖 +4mmPb铅板	2.65E-07
14		东侧观察窗外 30cm处 (控制廊)	3.9	<sup>99m</sup> Tc 185	5mmPb铅玻璃	2.52E-06
15		东侧铅门外 30cm处 (控制廊)	4.4	<sup>99m</sup> Tc 185	4mm铅板	1.98E-05
16		南侧墙体外 30cm处 (清洁通道)	4.8	<sup>99m</sup> Tc 185	240mm实心砖 +4mmPb铅板	1.66E-07
17		西侧墙体外 30cm处 (设备间)	3.3	<sup>99m</sup> Tc 185	240mm实心砖 +4mmPb铅板	3.52E-07
18		西侧防护门外 30cm处 (缓冲间)	5.7	<sup>99m</sup> Tc 185	4mm铅板	1.18E-05
19		北侧墙体外 30cm处 (DSA4)	4.8	<sup>99m</sup> Tc 185	240mm实心砖 +4mmPb铅板	1.66E-07
20		上方 30cm处(楼顶平 台)	3.5	<sup>99m</sup> Tc 185	120mm混凝土 +3mmPb铅板	1.67E-04
21		下方距地面 170cm处 (手术区)	3.3	<sup>99m</sup> Tc 185	120mm混凝土 +3mmPb铅板	1.88E-04
注: 实心粘土砖和硫酸钡按照密度折算成混凝土后, 进行计算。本项目每周最多开展 1 天 <sup>90</sup> Y 肿瘤治疗, 每天最多进行 1 例, 因此病房按 1 人进行考虑。						



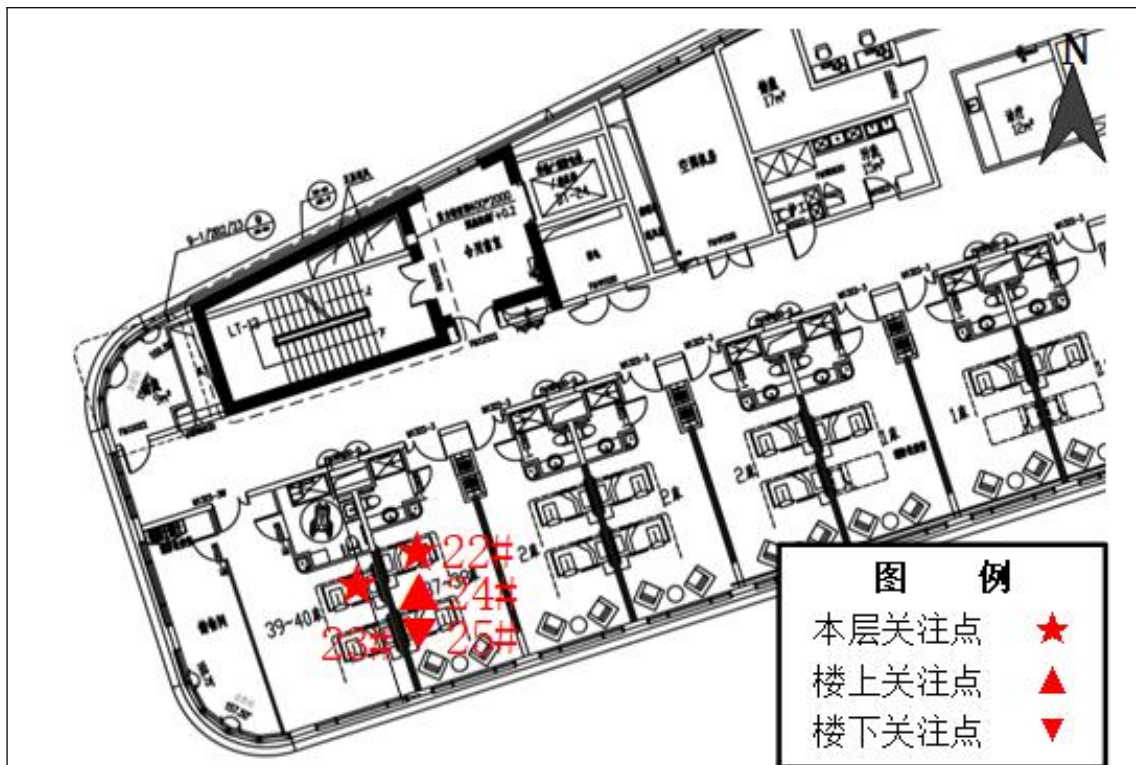


图11-3 <sup>90</sup>Y患者病房关注点位图

#### 11.2.1.4 射线装置产生的X射线辐射环境影响分析

##### 一、DSA产生的X射线辐射影响分析

根据《复旦大学附属中山医院厦门医院核技术利用项目（本期验收1台DSA机）竣工环境保护验收监测报告表》（2024年12月）可知，本项目介入科DSA5减影工况下，机房六面（包含工作人员操作位）最大辐射剂量率为 $0.185\mu\text{Sv/h}$ 。与“表11-2 <sup>90</sup>Y肿瘤治疗工作场所韧致辐射剂量率计算结果”中DSA机房周边辐射剂量率最大处叠加后，DSA机房周边的辐射剂量率最大为 $0.185+8.52\text{E-}02=0.2702\mu\text{Sv/h}$ ，故DSA机房外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的屏蔽体外表面30cm处剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

##### 二、SPECT/CT产生的X射线辐射影响分析

根据《复旦大学附属中山医院厦门医院核技术利用项目（阶段性验收）竣工环境保护验收监测报告表》（2022年6月）可知，SPECT/CT运行情况SPECT/CT机房六面（包括控制室工作位）所致的最大附加剂量率为 $0.192\mu\text{Sv/h}$ ，与“表11-2 <sup>90</sup>Y肿瘤治疗工作场所韧致辐射剂量率计算结果”中SPECT/CT机房周边辐射剂量率叠加后，SPECT/CT机房周边的辐射剂量率最大为 $0.192+1.14\text{E-}01=0.306\mu\text{Sv/h}$ ，

故SPECT/CT机房外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的屏蔽体外表面30cm处剂量率不大于2.5μSv/h的要求。

### 11.2.1.5 工作人员及公众个人剂量估算

#### 一、工作人员受照剂量估算

根据医院提供的资料，项目正式开展后，医院每周安排两天开展肿瘤治疗，每天最多安排1名肿瘤患者。<sup>90</sup>Y肿瘤治疗工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表11-5。

表 11-5 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	人员	操作内容	操作时间	人员数量
药物分装及注射间	核医学科 医护人员	<sup>99m</sup> Tc 核素测活	30 秒/次	2 人
		<sup>90</sup> Y 核素分装、测活、抽取	5 分钟/次	
DSA 机房	DSA 介 入医护人 员	<sup>90</sup> Y 核素导管注射	20 分钟/台	每台手术 配备 1-2 名手术医 生，1-2 名护士
		<sup>99m</sup> Tc 核素导管注射	20 分钟/台	
		透视模式下医护人员近台操作	20 分钟/台	
患者转运		将患者转运至 SPECT/CT 机房和病房	30 分钟/人次	
病房		病房巡查	30 分钟/人次	
	术后护理	20 分钟/人次		
DSA 控制室	DSA 技 师	技师在控制室操纵设备进行扫描	60 分钟/台	2 人
		减影模式下技师隔室操作	1 分钟/台	
SPECT/CT 机房	SPECT/C T 技师	指导患者摆位	1 分钟/人次	2 人
SPECT/CT 控制室		技师在控制室操纵设备进行扫描、图像采集	15 分钟/人次	

根据表11-2和表11-4预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式11-4计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11-7。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff}=Dr \times t \times T \times U \dots \dots \dots \text{（式 11-4）}$$

式中：

$D_{Eff}$ ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

$Dr$ ——辐射剂量率，Sv/h；

$t$ ——年工作时间, h;

$T$ ——居留因子;

$U$ ——使用因子,  $U$ 取1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)选取, 具体数值见表 11-6。

表 11-6 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的滞留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、患者滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

表11-7  $^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗工作场所辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	对应辐射工作人员年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
标记分装室	药物分装测活	1.85E-01 (1)	5h (5min/次×60次/年)	9.25E-04	1.43E-03
		6.23E-25 (1#)	1h (30s/次×120次/年)	6.23E-28	
	药物转运	1.00E-01 (1)	5h (5min/次×60次/年)	5.00E-04	
		5.61E-06 (1#)	10h (5min/次×120次/年)	5.61E-08	
介入手术室 DSA5	药物注射和介入手术	1.88E+00 (11)	20h (20min/次×60次/年)	3.76E-02	8.21E-01
		1.21E+00 (11#)	40h (20min/次×120次/年)	4.84E-02	
		13.78(DSA 透视模式下术者位剂量率)	40h (20min/次×120次/年)	5.51E-01	
患者转运	转运	1.80E+00 (12)	30h (30min/次×60次/年)	5.40E-02	
		3.83E-01 (12#)	60h (30min/次×120次/年)	2.30E-02	
病房	查房	2.14E+00 (22)	30h (30min/次×60次/年)	6.42E-02	
	术后护理	2.14E+00 (22)	20h (20min/次×60次/年)	4.28E-02	
DSA 控制	扫描	8.52E-02 (14)	60h	5.11E-03	1.23E-02

室			(60min/次×60次/年)		
		2.52E-06 (14#)	120h (60min/次×120次/年)	3.02E-07	
		1.80E-01 (DSA 减影模式下控制室剂量率)	40h (20min/次×120次/年)	7.20E-03	
SPECT/CT 机房	摆位	1.42E+00 (2)	1h (1min/次×60次/年)	1.42E-03	3.12E-03
		1.21E-05 (2#)	2h (1min/次×120次/年)	2.42E-08	
SPECT/CT 控制室	扫描	1.11E-01 (3)	15h (15min/次×60次/年)	1.67E-03	
		3.13E-07 (3#)	30h (15min/次×120次/年)	9.39E-09	
		1.94E-01 (CT)	0.17h (5s/次×120次/年)	3.30E-05	
注：本项目保守按辐射工作人员最大负荷进行估算，括号内“1”来源于表 11-2 钷致辐射相应点位辐射剂量率，括号内“1#”来源于表 11-4 γ射线相应点位辐射剂量率；考虑 <sup>90</sup> Y 肿瘤手术过程人员可能受到 DSA 或 SPECT/CT 照射情况，DSA 对应点位剂量率及 SPECT/CT 剂量率根据对应场所环境保护监测数据取值。					

本项目不新增辐射工作人员，依托核医学科和介入手术室 DSA5 机房辐射现有工作人员开展肿瘤治疗，因此 <sup>90</sup>Y 肿瘤治疗部分工作人员受照剂量需考虑叠加。根据医院最近一年辐射工作人员个人剂量检测报告，取最近一年本项目现有辐射工作人员个人剂量最大值进行保守估算可得，核医学科辐射工作人员年有效剂量最大为 0.37mSv，介入科辐射工作人员年有效剂量最大为 0.31mSv。

**表 11-8 辐射工作人员年有效剂量叠加估算**

序号	人员	本项目所致年有效剂量 (mSv)	原岗位所致年有效剂量 (mSv)	叠加后年有效剂量 (mSv)
1	药物分装及注射间工作人员	1.43E-03	0.37	3.71E-01
2	DSA 医护人员	8.21E-01	0.31	1.13E+00
3	DSA 控制室技师	1.23E-02	0.31	3.22E-01
4	SPECT/CT 控制室技师	3.12E-03	0.37	3.73E-01
注：本项目核医学科及介入手术室 DSA5 目前已投入使用，辐射工作人员叠加受照剂量保守取最近一年度个人剂量监测报告中核医学科与介入辐射工作人员最大年受照剂量。				

叠加后本项目辐射工作人员的年有效剂量最大为 1.13mSv，满足辐射工作人员年有效剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

## 二、公众受照剂量估算

本项目辐射工作场所周边公众人员主要为医院内工作人员、患者及家属等。对于核医学科、介入手术室 DSA5 机房及 <sup>90</sup>Y 患者病房等区域周围 50m 范围内

其他公众，本评价保守按照与相关用房相邻用房和具有代表性的建筑物、区域进行核算。

根据  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗场所周围公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。公众年有效剂量按照式 11-4 计算，据表 11-2 及表 11-4 预测结果，公众年有效剂量计算结果见表 11-9。机房外更远的关注点不考虑距离衰减和中间其它屏蔽因素。

表11-9 公众年有效剂量计算结果

场所	位置描述	相对于场所方位	韧致辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年受照时间 (h)	$\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年受照时间 (h)	叠加辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子	年有效剂量 (mSv)
核医学科诊断场所	受检者通道	东侧紧邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/5	1.29E-03
	空调机房	东侧紧邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/40	1.61E-04
	核医学科核素治疗区域	南侧紧邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/4	1.61E-03
	问诊室	西侧紧邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/4	1.61E-03
	候诊区	西侧紧邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/20	3.21E-04
	受检者通道	西侧紧邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/5	1.29E-03
	室外过道	北侧紧邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/5	1.29E-03
	大厅过道	上方相邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/5	1.29E-03
	办公室	上方相邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/5	1.29E-03
	出入院办理	上方相邻	3.06E-01	21	1.21E-05	33	6.43E-03	1/20	3.21E-04
介入手术室 DSA5 机房	清洁通道	南侧紧邻	2.70E-01	20	2.60E-01	40	1.58E-02	1/5	3.16E-03
	缓冲间	西侧紧邻	2.70E-01	20	2.60E-01	40	1.58E-02	1/5	3.16E-03
	清洁通道及设备间	西侧紧邻	2.70E-01	20	2.60E-01	40	1.58E-02	1/5	3.16E-03
	DSA4	北侧紧邻	2.70E-01	20	2.60E-01	40	1.58E-02	1/4	3.95E-03
	手术中心	上方相邻	2.70E-01	20	2.60E-01	40	1.58E-02	1/4	3.95E-03
	检验科大厅	下方相邻	2.70E-01	20	2.60E-01	40	1.58E-02	1/20	7.90E-04
$^{90}\text{Y}$ 患者病房	35~36 床病房	东侧紧邻	6.60E-01	2880	/	/	1.90E+00	1/20	9.50E-02
	39~40 床病房	西侧紧邻	6.60E-01	2880	/	/	1.90E+00	1/20	9.50E-02
	室内过道	北侧紧邻	3.72E-02	2880	/	/	1.07E-01	1/5	2.14E-02
	9A/9B 病	上方	3.13E-02	2880	/	/	9.01E-02	1/20	4.51E-03

	区	相邻							
	7A/7B 病区	下方相邻	3.72E-02	2880	/	/	1.07E-01	1/20	5.36E-03

由表 11-9 可得，本项目依托核医学科和介入手术室 DSA5 机房及其配套用房开展肿瘤治疗后，周边公众年最大有效剂量为  $9.50E-02mSv$ ，根据关注点剂量率与关注点距辐射源点的距离的平方成反比关系的规律可知，距离机房越远，辐射剂量率越低，距离机房更远处的公众人员受照剂量不会大于  $9.50E-02mSv$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于  $0.1mSv/a$  的公众人员年管理剂量约束值。

### 11.2.3 运营期三废影响分析

#### 一、放射性废气

本项目使用的  $^{99m}Tc$  和  $^{90}Y$  核素均为外购，单支装，其核素操作均在通风柜内进行，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，操作过程中无开放液面，因此其产生的气溶胶量极少。

核医学拟利用现有排气筒经活性炭吸附装置处理后 1 号楼楼顶排放，DSA 机房利用现有 DSA 机房独立排风管道，将废气通至 2 号楼楼顶，高出所在建筑屋脊并做好防雨防风倒灌措施，本项目产生的放射性废气对周围环境影响较小。

本项目放射性废气收集管道均吊顶设置，因核素操作在通风柜内完成且操作过程无开放液面，放射性气溶胶产生量很低，因此放射性废气收集管道对周围辐射环境影响很小。

#### 二、放射性废水

本项目 DSA 机房介入手术工作人员手术过程中均穿戴手术服和一次性手套，手术台面和地面均铺有吸水纸，若出现手术过程中核素撒漏，工作人员需脱掉手术服、收集手术台面和地面吸水纸并用吸水纸进行去污。如发生特殊情况，工作人员可使用 DSA 机房西侧缓冲间进行紧急冲洗，洗手池设置阀门可将放射性废水使用专用容器单独收集，每次冲洗产生的废水量为  $0.01m^3$ ，若一年三次，则年产水量为  $0.03m^3/a$ 。

本项目装有放射性废水的专用容器倒入核医学科衰变池内，待放射性废水贮存超过 30 天后，满足 HJ1188-2021 及其相关条款的复函要求后排入院内污水处理设施达标纳管。

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)可知,患者在接受<sup>90</sup>Y树脂微球核素治疗后,0~24h每例患者尿液中<sup>90</sup>Y核素总活度最大为 $3.11\times 10^5\text{Bq}$ ,低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度( $7.41\times 10^6\text{Bq}$ )的相关要求,<sup>99m</sup>Tc给药量小于<sup>90</sup>Y且半衰期更短,因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑,住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

### 三、放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物,以及若出现手术过程中核素撒漏,可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。

核医学科分装注射室和DSA机房内各设置1个铅桶,核医学科废物库设置1个放射性废物铅衰变箱。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋,包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 $0.1\text{mSv/h}$ 以下,重量不超过 $20\text{kg}$ 。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏,分装注射室和DSA5机房产生的放射性废物转运暂存于核医学科放射性废物间内,待放射性固体废物暂存超过30天,经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq/cm}^2$ 后,对废物清洁解控按医疗固废委托当地有资质单位处置。

医院应做到:

①严格区分放射性废物与非放射性废物,不可混同处理,应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅废物桶内,再将铅废物桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋,转移到对应场所的放射性废物间的衰变暂存容器内,收储一段时间后再分类处理。每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签,标明物品及最后一天的收集时间,内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套(如硬牛皮纸外套)。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》(国务院令 第612号)的相关规定。

## 11.3 事故影响分析

### 11.3.1 环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

#### 一、可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

① DSA 机房或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房或滞留在机房内，对人员造成误照射。

② 由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③ 由于未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④ 医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

#### 二、辐射事故等级分析

本项目为使用  $^{90}\text{Y}$  及  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素进行肿瘤治疗及显像，该过程使用的核素量较少，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》内辐射事故等级分类依据，本项目可能发生的辐射事故为一般辐射事故。

#### 三、工作场所防范措施

① 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，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质撒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质撒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对撒漏放射性液体的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

② 制定和完善放射性核素安全管理制度，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。设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。当发生放射性药物丢失事故时，事故发现者应立即报告医院辐射安全与防护管理小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、生态环境和卫生主管部门对丢失放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

③加强放射性废物的管理，对贮存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。

④个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为患者注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

⑤严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

⑥将射线装置放置于专用机房内，机房墙体采用铅板进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置控制廊防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置急停开关，操作人员可通过急停开关等停机操作来确保人员安全。

⑦工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报生态环境部门和卫生行政部门，并接受监督部门的处理。

⑧所有出入口均设有单向门禁系统，非工作人员的引导不能进入，给药后患

者只能通过单向门禁从出口处离开。

#### 四、应急处置措施

发生事故时，采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 $\beta$ 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。若大量放射性物质撒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪器对撒漏放射性液体的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。处理药物撒漏的擦拭物收集放到固体放射性废弃物衰变箱中，作为固体放射性废物进行管理。

②因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大。之后根据不同核素分别去污。

③若发生放射性药物丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

④放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

## 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

复旦大学附属中山医院厦门医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规的要求，设立了放射（辐射）防护管理委员会。放射（辐射）防护管理委员会主任委员由医疗副院长担任，辐射安全管理委员会下设日常管理办公室，办公室挂靠公共卫生科。公共卫生科王婧任辐射安全管理专管员，负责日常管理工作，各成员职责明确，分工清晰，能有效确保辐射工作人员、社会公众的健康与安全。该领导小组的组成涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，在框架上基本符合要求。

在日后的工作实践中，建设单位应根据核技术应用情况及时对已有辐射安全与防护管理领导小组成员作相应调整，确保调整后的辐射安全管理委员会的基本组成涵盖当时核技术应用所涉及的相关部门。

### 12.2 辐射安全管理规章制度

#### 一、辐射防护管理制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射源、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、检测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

根据上述要求，医院制定了相关辐射管理规章制度，医院制定了相关辐射管理规章制度，包括《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员个人剂量监测管理制度》、《放射工作人员培训考核计划》、《放射诊疗设备维护、维修规定》、《辐射事故应急预案》、《核医学科放射源管理制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《辐射环境监测制度》和《个人防护用品配置、使用及维护管理制度》等，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，可以满足原有项目运行的管理需求。

同时，本环评要求医院完善辐射安全防护设施的维护与维修制度，增加机构人员，重大问题管理措施等内容。医院辐射事故应急预案应根据本次核技术利用项目实际运行需要和国家、省市新要求，及时进行修订和完善，同时加强演练。

其他制度也应根据实际情况和有关新要求及时修订和调整。

## 二、辐射工作人员培训制度

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目的辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，现有人员调配的在辐射安全与防护培训合格证书到期后按时接受再培训，考核不合格的不得从事辐射相关工作。医院应制定完善的辐射安全与防护培训计划，明确培训对象、周期和要求，并按计划组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，取得培训合格证，考核不合格的不得上岗。

## 三、年度安全状况评估

复旦大学附属中山医院厦门医院应在每年 1 月 31 日前填报上一年度评估报告。年度评估报告应包括辐射安全和防护设施的运行与维护情况；辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；辐射事故及应急响应情况；核技术利用项目新建、改扩建和退役情况；存在的安全隐患及其整改情况；其他有关法律、法规规定的落实情况等方面的内容。

## 12.3 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第18号令）及相关管理要求，医院应为辐射工作人员配备个人防护用品和个人剂量监测仪器，同时配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、X- $\gamma$ 辐射监测仪、表面污染检测仪器等。

### 一、个人剂量监测和职业健康检查

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员均佩戴个人剂量计，监测周期不超过 3 个月。辐射工作人员职业健康检查每 2 年进行 1 次，并建立职业健康监护档案且长期保存。医院已有工作人员均配备了个人剂量计，并按期进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案，个人累积剂量均未超过标准限值要求，满足 GB18871-2002 中职业人员相关剂量限值要求。

环评要求：

①个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

②辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或停止辐射工作三十年。

## 二、辐射工作场所及周围环境监测

①监测内容：

核医学科场所、37~38床病房：X- $\gamma$ 剂量率、 $\beta$ 表面沾污；

介入设备场所：X- $\gamma$ 剂量率、 $\beta$ 表面沾污。

②监测布点及数据管理：监测布点应与环评预测关注点布点、验收监测布点一致，监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

③监测频度：对于X- $\gamma$ 剂量率和 $\beta$ 表面沾污应自行配备监测设备每季度监测1次。

另外建设单位需委托有监测资质的单位在项目投运前开展验收监测，并在投运后每年定期开展年度监测，监测报告附到年度评估报告中，于每年1月31日前将评估结果上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。

④监测范围：射线装置工作场所主要监测屏蔽墙、防护门、观察窗外以及楼上、楼下区域和穿线空洞外X辐射剂量率或。非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等表面沾污，以及控制区内所有场所及控制区外邻近房间的 $\gamma$ 辐射剂量率。

⑥监测设备：X- $\gamma$ 辐射剂量率仪、 $\beta$ 表面沾污。

（6）质量保证：委托有资质监测单位进行监测，监测仪器必须在检定有效期内，监测工作人员必须持证上岗；监测中若出现辐射超标问题，应及时向院方提出，并提出整改意见，在院方整改完成后，进行复检，直至符合要求，提供满足要求的监测报告。医院自主监测时，所用仪器须按国家规定进行剂量检定，检测时须按《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）制定检测方案及实施细则执行。

### 三、竣工环境保护验收监测

医院根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施在调试期间进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。验收意见包括工程建设基本情况、工程变动情况、环境保护设施落实情况、环境保护设施调试效果、工程建设对环境的影响、验收结论和后续要求等内容，验收结论应当明确该建设项目环境保护设施是否验收合格。项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

验收报告编制完成后5个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于20个工作日。验收报告公示期满后5个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。

综上所述，本项目监测计划见下表12-1。

表 12-1 本项目监测计划一览表

工作场所	监测类别	监测因子	监测点位	监测方式	监测周期
90Y 肿瘤治疗工作场所（核医学科）	年度监测	β表面污染	工作台、注射窗、通风柜、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、分装注射室、放射性废物库、贮源库、候诊区、注射后候诊区、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	1次/年
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	1次/年
		放射性固废	废物间（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm <sup>2</sup> ）	/	/
	日常监测	β表面污染	工作台、注射窗、通风柜、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、分装注射室、放射性废物库、贮源库、候诊区、注射后候诊区、墙壁及地面等可能污染的位置	自行监测	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	自行监测	1次/月	
		放射性固废	放射性废物库(辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ )	自行监测	每次排放前	
	验收监测	$\beta$ 表面污染	工作台、注射窗、通风柜、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、分装注射室、放射性废物库、贮源库、候诊区、注射后候诊区、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	项目建成后3个月内	
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测		
		放射性固废	放射性废物库(辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ )	委托监测		
	$^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗工作场所(介入手术室 DSA5)	年度监测	$\beta$ 表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、DSA 机房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	1次/年
			周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	1次/年
			放射性废水	放射性废水收集容器(总 $\beta\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ )	/	/
			放射性固废	放射性废物库(辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ )	/	/
		日常监测	$\beta$ 表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、DSA 机房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	自行监测	1次/月
			周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	自行监测	1次/月
			放射性废水	放射性废水收集容器(总 $\beta\leq 10\text{Bq}/\text{L}$ )	自行监测	每次排放前
放射性固废			放射性废物库(辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ )	自行监测	每次排放前	
验收监测		$\beta$ 表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、DSA 机房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	委托监测	项目建成后3个月内	
		周围剂量	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存	委托监测		

		当量率	放放射性物质的装置/设备的表面		
		放射性废水	放射性废水收集容器 (总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ )	委托监测	
		放射性固废	放射性废物库 (辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq/cm}^2$ )	委托监测	
$^{90}\text{Y}$ 患者病房	年度监测	$\beta$ 表面污染	病房墙壁和地面, 放射性废物桶和包装袋表面	委托监测	1次/年
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	1次/年
		放射性固废	放射性废物库 (辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq/cm}^2$ )	/	/
	日常监测	$\beta$ 表面污染	病房墙壁和地面, 放射性废物桶和包装袋表面	自行监测	每次工作结束 (出现放射性药物洒落应及时进行监测)
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	自行监测	1次/月
		放射性固废	放射性废物库 (辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq/cm}^2$ )	自行监测	每次排放前
	验收监测	$\beta$ 表面污染	病房墙壁和地面, 放射性废物桶和包装袋表面	委托监测	项目建成后3个月内
		周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的单位和存放放射性物质的装置/设备的表面	委托监测	
		放射性固废	放射性废物库 (辐射剂量率满足所处环境本底水平, $\beta$ 表面污染小于 $0.8\text{Bq/cm}^2$ )	委托监测	
	/	个人剂量监测	个人剂量当量	本项目所有辐射工作人员	委托监测

本项目污染防治措施“三同时”验收一览表见表 12-2。

表 12-2 污染防治措施“三同时”验收一览表

污染源或保护源	验收要求	验收依据
建设项目的环境影响评价文件及环评	落实环境影响评价文件及环评批复要求	《中华人民共和国环境影响评价法》

批复		
环境管理制度及应急措施	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，制定相应的规章制度和辐射事故/件应急预案，具有可操作性；有相应的操作规程及制度上墙	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第18号）
辐射工作人员管理	辐射工作人员进行个人剂量监测，并每季度进行一次送检，每两年安排辐射工作人员进行职业健康体检，并将资料存档管理；辐射工作人员持有辐射安全与防护培训考核合格证书	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第18号）
防护用品	防护用品按本报告表中表10-12中要求进行落实	GB18871-2002 HJ1188-2021 GBZ130-2020
辐射屏蔽设计及安全防护措施	①辐射工作场所屏蔽防护按环评报告中表10-10的要求落实到位。②各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5 $\mu$ Sv/h。③项目产生的放射性固体废物收集后，放射性固体废物暂存时间超过30天后，放射性固体废物经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，且表面污染小于0.8Bq/cm <sup>2</sup> 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。④辐射工作场所设置电离辐射警告标志及中文说明	GB18871-2002 HJ1188-2021 GBZ130-2020
辐射监测	①每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，并按时报送辐射安全年度评估报告。②医院配备相应的辐射监测设备X-y剂量率测量仪、 $\beta$ 表面污染并定期进行自行监测	《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第18号）
年有效剂量管理	辐射工作人员年有效剂量不超过5mSv/年，公众成员年有效剂量不超过0.1mSv/年	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及环评批复

#### 12.4 辐射事故应急

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第18号）第六章第四十三条规定：“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备。”辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- ③辐射事故分级与应急响应措施；
- ④辐射事故的调查、报告和处理程序；
- ⑤辐射事故信息公开、公众宣传方案。

医院制定了辐射事故应急处置预案，成立了放射性突发事件领导小组，明确了放射性突发事件领导小组的工作职责，规定了应急处理程序，平时需做好放射事故应急准备工作，一旦有事故发生时能按照程序启动应急方案。

一旦发生辐射事故时，须立即启动本单位的辐射事故应急预案，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》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫健部门报告。

环评建议，针对应急预案，医院应强化应急预案的可操作性，完善应急响应程序，在预案中应补充应急人员的培训以及应急的装备、资金、物资准备情况，辐射事故应急联系电话。随着医院的发展，开展核技术利用项目种类的增加，医院应及时对原有辐射事故应急预案进行修改、完善，增加针对新开展核技术应用项目事故应急管理方面的内容。

安全医疗，重在防范，医院必须严格遵守《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 18 号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令第 449 号）等相关规定，严格按照医院的相关规章制度执行，将安全和防范措施落实到工作中的各个细节，防患于未然。

### 12.5 环保投资一览表

本项目总投资 万元，其中安排用于环保方面的投资为 万元，占项目总投资的 %。本项目环保投资估算详见表12-3。

表 12-3 本项目环保投资概算一览表

序号	环保措施	环保投资（万元）
1	核素院内转移铅罐、输送装置防护、注射器防护套、有机玻璃废物桶、病人转移以及护送人员、患者及工作人员防护用品、 <sup>90</sup> Y 患者专用病房隔离铅屏风	
2	辐射监测仪器购买和维护	
3	Y-90 患者专用病房对讲装置、监控、门禁管理系统。	
4	环境影响评价及竣工环保验收	
合计		

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 辐射安全与防护分析结论

##### 一、项目概况

复旦大学附属中山医院厦门医院位于福建省厦门市湖里区金湖路 668 号, 建设单位为满足肿瘤治疗需求, 医院拟开展  $^{90}\text{Y}$  微球治疗项目, 主要用于肝脏恶性肿瘤治疗。

本项目在 2 号楼三层介入手术室 DSA5 机房建设一个乙级非密封放射性物质工作场所, 使用  $^{90}\text{Y}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  两种核素,  $^{90}\text{Y}$  日等效最大操作量  $3.0\text{E}+7\text{Bq}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  日等效最大操作量  $1.85\text{E}+5\text{Bq}$ ,  $^{90}\text{Y}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  不在同一天操作, 日等效最大操作量不叠加。

本项目为更好地适应开展  $^{90}\text{Y}$  微球治疗项目, 于 2 号楼三层介入手术室 DSA5 机房西侧设置 1 间缓冲间, 并将 1 号楼八层原 37~38 床病房设置为本项目  $^{90}\text{Y}$  患者专用病房。

项目依托 2 号楼三层介入手术室 DSA5 机房 Lnnova IGS 5 型 DSA 机和 1 号楼负一层核医学科, 依托内容不在本次评价范围内。

##### 二、项目选址合理性

本项目位于复旦大学附属中山医院厦门医院 1 号楼负一楼核医学科、八层病房和 2 号楼三层介入科位置, 均为前期已建工作场所, 不新增土地, 项目用地属于医疗卫生用地。1 号楼和 2 号楼均为独栋建筑, 周围无环境制约因素, 各辐射工作场所周围 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点, 避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域, 或人员流动性大的商业活动区域。本项目各辐射工作场所均有相应的屏蔽设计, 通过前文环境影响分析可知, 经辐射屏蔽措施后, 本项目的运行对周围环境的影响是可接受的。

综上所述, 本项目选址充分考虑了邻近周围场所的防护和安全。从辐射场所的楼层平面布局可知, 各辐射场所与其配套单元间功能布局分区明确, 不相互穿插、干扰, 本项目选址合理。

##### 三、辐射安全防护措施结论

本项目  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗依托现有场所屏蔽防护措施, 能够有效屏蔽 X 射线、 $\beta$

射线和 $\gamma$ 射线等的辐射影响。依托现有分装注射室内已配备了通风柜、放射药物注射窗，放射性核素操作人员均配备了铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽等个人防护用品；核医学科工作场所设置了电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲及监控设施，配有表面污染仪、个人剂量报警仪等监测设备；设置有放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置，现有核医学科各屏蔽防护墙及防护门的屏蔽防护设计，室内表面及装备结构设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求。

本项目 $^{90}\text{Y}$ 肿瘤治疗依托介入手术室 DSA5 机房场所现有屏蔽防护措施，并配有个人防护用品，其屏蔽厚度及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》（130-2020）的要求。

医院对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，并设置相应的警示标志，限制无关人员进入。医院制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品。为辐射工作人员配备个人剂量计，并配备个人剂量报警仪，场所配备 X- $\gamma$ 辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。

综上所述，医院在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少了不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施符合辐射防护要求。

#### **四、辐射安全管理结论**

医院已成立专门的辐射防护领导小组负责辐射安全与环境保护管理工作。医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求。

医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测。本项目为机房配备个人剂量报警仪，日常环境监测依托现有 X- $\gamma$ 辐射监测仪。因此，经落实后，本项目辐射安全管理满足辐射安全要求。

#### **13.1.2环境风险分析结论**

本项目运行过程中，对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常工况下，本项目辐射工作场所周围辐射剂量率水平满足相关标准的要求，在运行过程中对

辐射工作人员和周围环境中的公众辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值的要求，即工作人员受照剂量不超过 5mSv/a，公众受照剂量不超过 0.1mSv/a，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

### 13.1.3 可行性分析结论

#### 一、产业政策符合性结论

本项目为核技术利用项目，根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目拟开展  $^{90}\text{Y}$  肿瘤治疗不属于限制类和淘汰类项目，本项目拟建设的 DSA 装置属于第六项“核能”中第 4 款“同位素、加速器及辐照应用技术开发”和第十三项“医药”中第四条“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……”项目。因此，本项目的建设符合国家现行产业政策。

#### 二、实践正当性结论

医院实施本项目，目的在于开展放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护原则中“实践的正当性”的要求。

### 3. 项目可行性结论

综上所述，复旦大学附属中山医院厦门医院钇-90 微球治疗项目的建设选址合法合理，且项目符合产业政策和实践正当性，在落实本报告提出的各项辐射管理、辐射防护措施后，其运行时对周围环境和人员的影响能够满足辐射环境保护相关标准的要求，因此从环境保护和辐射安全角度分析，该项目的建设是可行的。

## 13.2 建议与承诺

### 13.2.1 建议

①加强辐射安全教育培训，增强辐射工作人员辐射防护意识，杜绝辐射事故发生。

②医院应加强辐射管理工作，对受到超过剂量调查水平的应进行评价，跟踪分析高剂量的原因，优化实践行为，做好个人剂量档案工作，同时合理安排超过剂量辐射工作人员的工作量，加强个人防护，配置满足防护要求的个人用品，合理使用个人防护用品。

### 13.2.2承诺

①医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）的要求自行验收，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

②医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理措施等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。

## 表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公章  
年 月 日

审批意见：

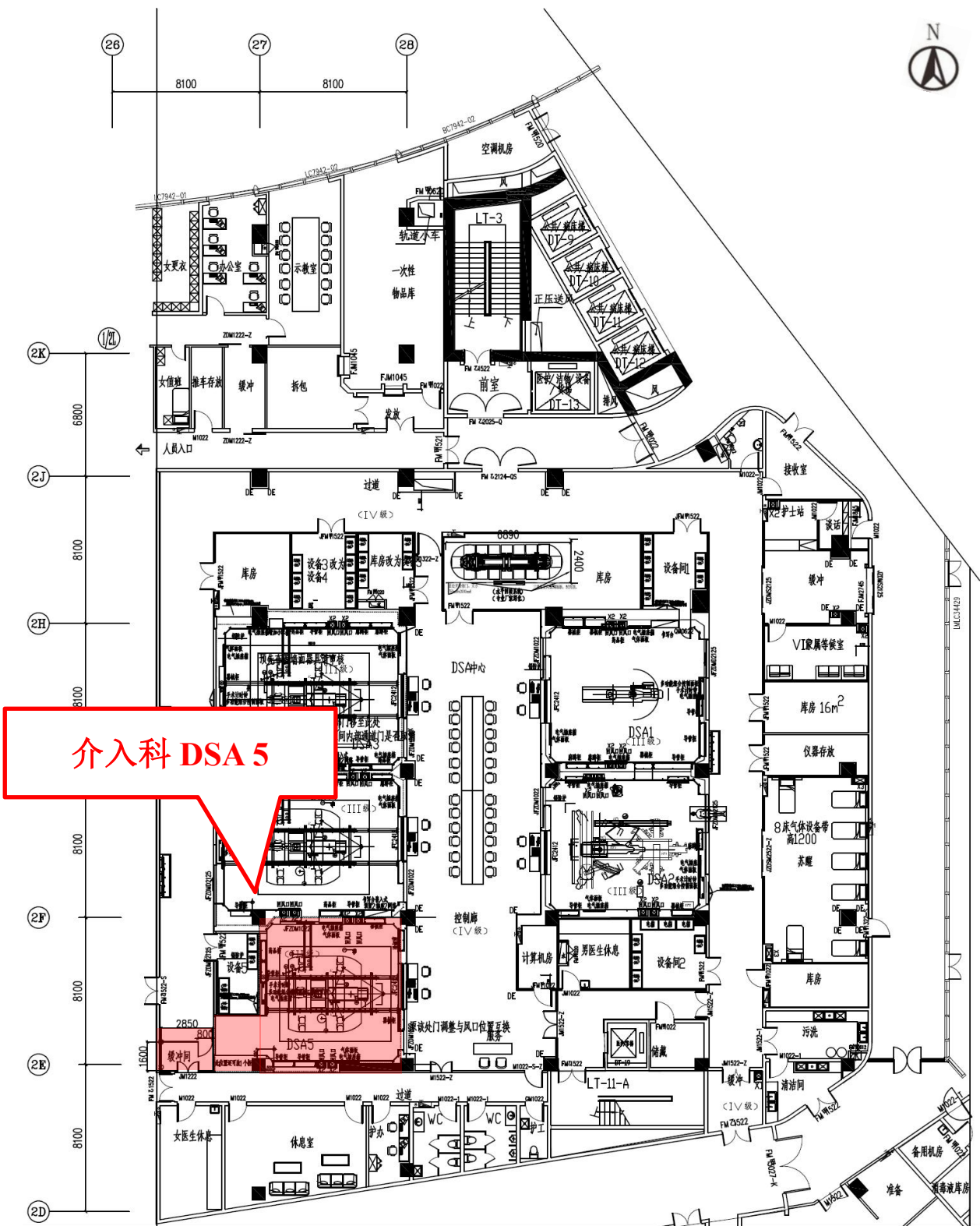
经办人：

公章  
年 月 日

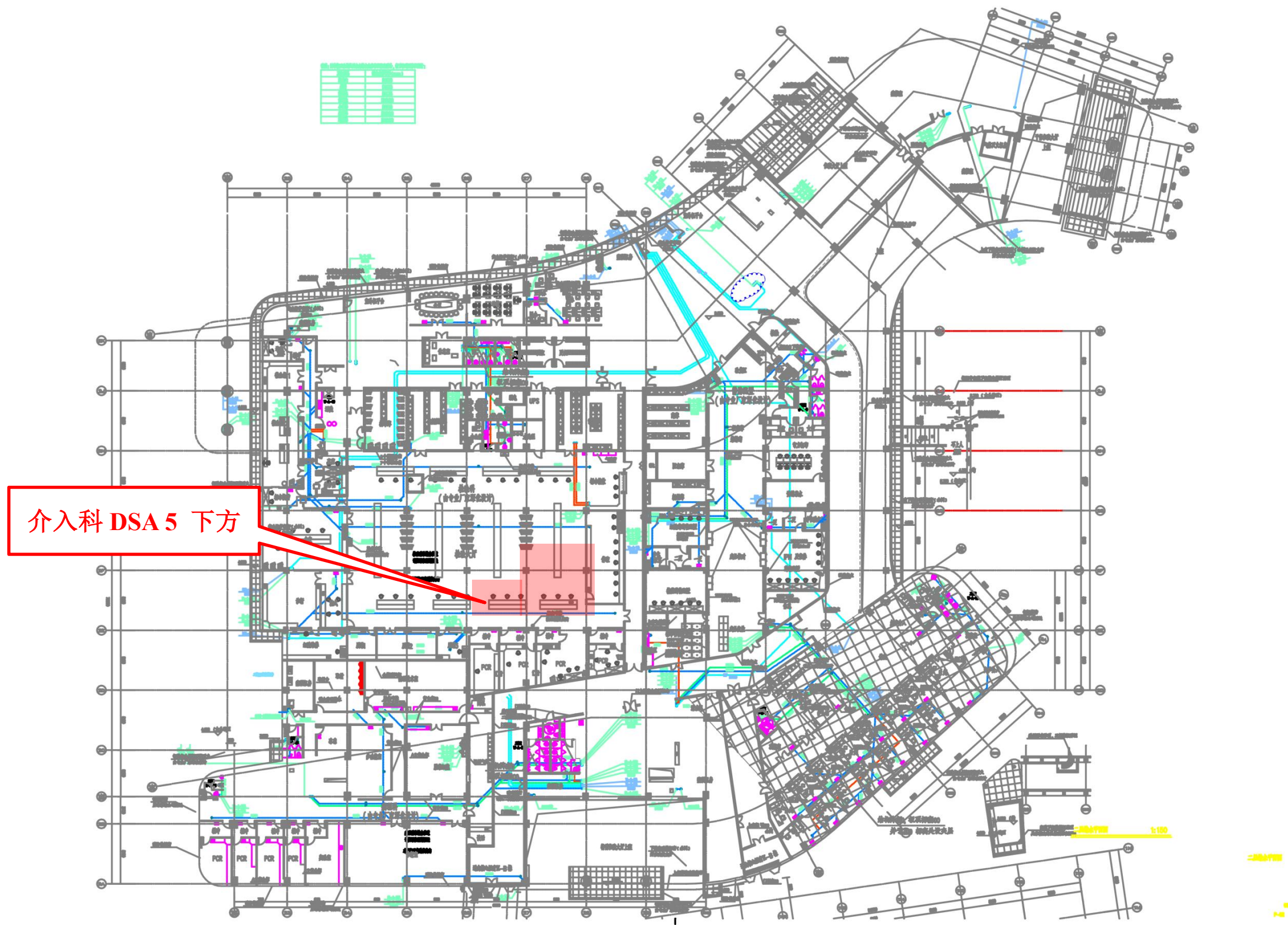


附图 1 1号楼地下一层核医学科核素治疗区域平面图





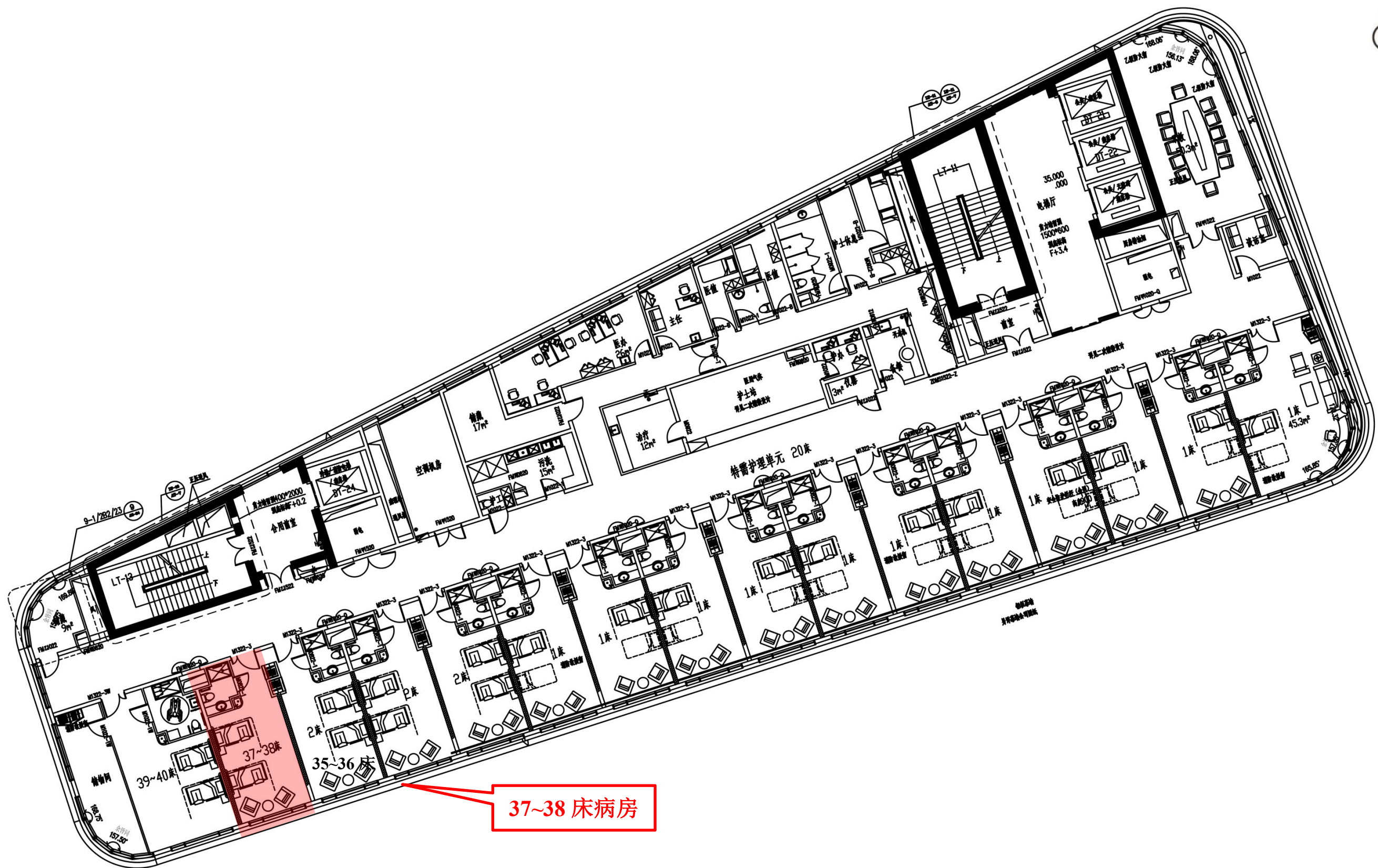
附图3 2号楼三层平面图（局部放大）



附图4 2号楼二层平面图



附图5 2号楼四层平面图



37~38 床病房

附图6 1号楼八层平面图