

核技术利用建设项目

厦门弘爱医院

^{90}Y 树脂微球治疗项目

环境影响报告表

(送审稿)

厦门弘爱医院 (盖章)

2022 年 11 月

核技术利用建设项目

厦门弘爱医院

^{90}Y 树脂微球治疗项目

环境影响报告表

建设单位名称（盖章）：厦门弘爱医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：福建省厦门市湖里区仙岳路 3777 号

邮政编码：361008

联系人：陈宇博

电子邮箱：/

联系电话：/

表 1 项目基本情况

建设项目名称		厦门弘爱医院 ⁹⁰ Y 树脂微球治疗项目			
建设单位		厦门弘爱医院			
法人代表	应敏刚	联系人	陈宇博	联系电话	/
注册地址		福建省厦门市湖里区仙岳路 3777 号			
项目建设地点		福建省厦门市湖里区仙岳路 3777 号			
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		■新建 □改建 □扩建 □其它		占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	□销售	□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类		
		□使用	□I类（医疗使用） □II类 □III类 □IV类 □V类		
	非密封放射性物质	□生产	□制备 PET 用放射性药物		
		□销售	/		
		■使用	■乙 □丙		
	射线装置	□生产	□II类 □III类		
		□销售	□II类 □III类		
		□使用	□II类 □III类		
其他		/			

项目概述：

1.1 建设单位基本情况、项目建设规模及由来

1.1.1 建设单位基本情况

厦门弘爱医院是由厦门建发集团有限公司发起设立厦门仁爱医疗基金会，并以基金会为投资主体建设的一家集医疗、急救、预防、保健、康复、教学、科研于一体的现代化大型非营利性三级综合性医院。医院地处厦门岛内五缘湾片区，规划占地 126 亩，总建筑面积 33 万平方米。医院于 2018 年 9 月正式投入运营。医院共设有包括神经内科、介入治疗科、病理科、医学影像中心、肿瘤中心等在内的 42 个临床医技科室。目前医院配备了医用直线加速器、模拟定位机、PET/CT、SPECT、DSA、CT、DR 等医疗设备，开展了 X 射线

诊断、放射治疗、核医学诊疗等放射诊疗活动。

厦门弘爱医院位于厦门市湖里区仙岳路 3777 号。

1.1.2 项目建设规模及由来

为了更好地为患者服务，医院拟开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，借助介入科 1#导管室内的 UNIQ Clarity FD20 型 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，达到肝癌治疗的目的；并把二号住院楼 10 层两间病房设置为 ^{90}Y 树脂微球患者专用留观病房； ^{90}Y 的贮存、质控、分装与扫描依托于门诊综合大楼负一楼核医学科工作场所。

一、依托工程内容

(一) 门诊综合大楼负一层核医学科

医院门诊综合大楼负一层核医学科已取得原福建省环境保护厅批复文件（闽环辐评[2016]16号、闽环辐评[2021]15号），并分别于 2020 年 11 月、2021 年 11 月完成自主验收，其中 ^{90}Y 和 ^{32}P 于 2020 年通过登记表备案。医院门诊综合大楼负一层核医学科目前已许可的核素及用量见下表。

表 1-1 厦门弘爱医院已许可的核素及用量一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)
1	^{90}Y	1.5×10^8
2	^{201}Tl	9.25×10^5
3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.55×10^7
4	^{89}Sr	7.4×10^6
5	^{32}P	2.31×10^8
6	^{15}O	7.4×10^7
7	^{13}N	7.4×10^7
8	^{99}Mo	7.4×10^7
9	^{131}I	3.15×10^9
10	^{125}I 籽源	3.7×10^6
11	^{67}Ga	1.85×10^7
12	^{18}F	7.4×10^7
13	^{11}C	7.4×10^7
总日等效最大操作量		3.92×10^9

(二) 门诊综合大楼三楼 1#导管室

医院在门诊综合大楼三楼 1#导管室内使用一台 UNIQ Clarity FD20 型 DSA，已取得原福建省环境保护厅批复文件（闽环辐评[2016]16号），并于 2020 年 11 月完成自主验收。医院借助 1#导管室内的 UNIQ Clarity FD20 型 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插

管直接输注至肿瘤病灶，达到肝癌治疗的目的。本项目投入运行后介入科日等效最大操作量为 $5.0 \times 10^7 \text{Bq}$ 。属于 GB18871 中乙级非密封放射性物质工作场所范围 ($2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$)。

二、本项目建设内容

(一) 核医学科

本项目使用的放射性核素包括 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，医院现已许可的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 量已能够满足核医学科 SPECT 诊断项目和本项目的量，因此 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 量维持不变；本项目借助核医学科现有的分装室等场所，对 ^{90}Y 进行抽取、活度测量和扫描活动，不增加场所和改变场所屏蔽和布局。根据医院提供的资料，原已许可的 ^{90}Y （日等效最大操作量为 $1.5 \times 10^8 \text{Bq}$ ）拟不再使用，本项目投入运行后其日等效最大操作量为 $6.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，累加核医学科现有许可量后其日等效最大操作量为 $3.83 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍属于 GB18871 中乙级非密封放射性物质工作场所范围 ($2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$)。

(二) 1#导管室

1#导管室拟使用 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素，核素经工作人员从核医学科运送到本项目 1#导管室。本项目每天最大治疗患者数 2 人，每年最大治疗患者数 200 人。患者在 1#导管室介入条件下注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素最大活度为 5mCi/人 ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日最大操作量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效最大操作量 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ 。患者在 1#导管室介入条件下注射 ^{90}Y 核素最大活度为 $2.5 \times 10^9 \text{Bq/人}$ ， ^{90}Y 日最大操作量 $5 \times 10^9 \text{Bq}$ ， ^{90}Y 日等效最大操作量 $5 \times 10^7 \text{Bq}$ 。根据本项目治疗流程，本项目 1#导管室内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 不同一天操作（一般间隔 1~2 周），根据医院提供的资料，亦不存在 1#导管室内 2 位患者同一天操作 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 的情况，因此日等效最大操作量不叠加。综上所述，本项目 1#导管室内日等效最大操作量 $5 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境保护管理条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等法律法规的规定，该院 ^{90}Y 树脂微球治疗项目应履行环境影响评价手续。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）的分类，本项目最高级别属于“172 核技术利用建设项目”中的“乙级非密封放射性物质工作场所”范畴，应编制环境影响报告表。

受厦门弘爱医院的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担了该项目的环境影响评价工作。通过资料调研、项目工程分析，并在结合现场勘察和现场检测（委托江苏核众环境监

测技术有限公司检测)等工作的基础上,编制了本项目环境影响报告表。

1.2 项目选址及周边保护目标情况

厦门弘爱医院建设于厦门市湖里区仙岳路 3777 号。本项目核医学科位于门诊综合大楼负一层,1#导管室位于门诊综合大楼三层,留观病房位于二号住院楼十层。

门诊综合大楼位于医院东侧,共计七层,包括地下两层(加速器区域仅有地下一层)和地上五层。该门诊综合大楼北部区域的六层以上加建医院住院楼(6~17层)。门诊综合大楼东侧依次为院内道路、绿化、医院东围墙,围墙外为金山路;南侧依次为规划支路、公共绿地、仙岳路;西侧依次为院内道路和康复中心楼;北侧依次为院内绿化、道路、医院北围墙,围墙外为金山西路。

本项目 50m 范围内无学校或居民区等环境敏感点,均在医院院内或属公共道路。本项目 DSA 设有单独固定的机房,与周围非辐射工作场所隔开;核医学工作场所不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻。根据理论估算,项目运行时对周围环境辐射影响较小,因此,项目选址基本合理。

1.3 产业政策符合性分析

经对照《产业结构调整指导目录(2019 年本)》(2021 修改版),使用非密封放射性物质、射线装置开展医疗诊断及治疗属于国家鼓励类的“三十七、卫生健康”中医疗卫生服务设施建设项目,符合国家产业政策。

1.4 代价利益分析

本项目的运行,可为患者提供核医学诊断及治疗服务,方便群众就医,同时有利于提高福建省医疗卫生服务水平,促进当地医疗卫生事业发展,具有良好的社会效益和经济效益。本项目总投资 100 万元,其中环保投资 25 万元,占总投资的 25%,与同类项目环保投资指标相比,本项目环保投资比例合理、适当,可保证环保措施的落实。根据下文分析,本项目经辐射防护屏蔽和安全管理后,可保证项目辐射环境剂量率和人员年受照剂量满足项目管理目标要求。

因此,从代价利益方面分析,本项目获得的利益远大于对环境的影响,具有明显的经济效率、社会效益,该项目的建设利益大于其所付出的代价,因此符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)“实践的正当性”的原则。

1.5 项目环保投资

本项目环保投资明细见表 1-2。

表 1-2 本项目环保投资明细一览表

序号	项目	投资金额 (万元)
1	配套辐射防护用品 (铅废物桶、V 型瓶防护等)	10
2	个人剂量监测、职业健康体检、辐射安全与防护考核	4
3	辐射监测仪器	1
4	辐射安全规章制度上墙、环境影响评价、竣工环保验收	10
合计		25

1.6 现有核技术利用项目许可及辐射安全管理情况

1、现有核技术利用项目许可情况

厦门弘爱医院现有辐射安全许可证编号：闽环辐证[00292]，许可种类和范围：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。有效期至 2024 年 02 月 21 日。

医院现有核技术利用项目均已履行了相关环保手续，无遗留环保问题。详见表 1-3。

表 1-3 厦门弘爱医院核技术利用项目情况一览表

放射源								
序号	放射源名称	数量	单枚活度 Bq	放射源类别	工作场所名称	使用情况	环评及许可情况	验收情况
1	¹⁹² Ir	1	3.7×10 ¹¹	Ⅲ	后装机机房	使用	闽环辐评 [2016]16 号，已许可	2020.11 验收
2	²² Na	2	3.7×10 ⁶	V	/	未使用		未验收
3	⁶⁸ Ge	1	3.5×10 ⁶	V	PET 机房	使用		2020.11 验收
4	⁶⁸ Ge	1	5.5×10 ⁷	V		使用		2020.11 验收
5	¹³⁷ Cs	2	1.11×10 ⁶	V	/	未使用		未验收
6	⁹⁰ Sr	1	1.48×10 ⁹	V	/	未使用		已备案
非密封放射性物质								
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量 Bq	工作场所名称		使用情况	环评情况	验收情况
1	乙级	¹⁸ F	7.4×10 ⁷	核医学科		使用	闽环辐评 [2016]16 号，已许可	2020.11 验收
2		¹¹ C	7.4×10 ⁷			未使用		未验收
3		¹³ N	7.4×10 ⁷			未使用		未验收
4		¹⁵ O	7.4×10 ⁷			未使用		未验收
5		^{99m} Tc	5.55×10 ⁷			使用		2020.11 验收
6		⁹⁹ Mo	5.92×10 ⁶			未使用		未验收
7		²⁰¹ Tl	9.25×10 ⁵			未使用	未验收	
8		⁶⁷ Ga	1.85×10 ⁷			未使用	未验收	
9		⁸⁹ Sr	7.4×10 ⁶			未使用	闽环辐评 [2016]16 号，已许可	未验收
10		³² P	2.31×10 ⁸			使用	闽环辐评 [2021]15 号，已许可	2021.11 验收

11		⁹⁰ Y	1.5×10 ⁸			未使用	已备案	未验收	
12		¹³¹ I	3.15×10 ⁹			使用	闽环辐评[2016]16号、闽环辐评[2021]15号, 已许可	2020.11、2021.11 验收	
13		¹²⁵ I 粒籽源	3.7×10 ⁶		核医学科购入、DSA 机房和 CT 机房内植入、肿瘤和介入病区粒籽植入专用病房住院	使用	闽环辐评[2016]16号, 已许可	2020.11 验收	
14		⁹⁰ Y 树脂	6×10 ⁷		核医学科	新建	本次环评	/	
15		微球	5×10 ⁷		介入科	新建	本次环评	/	
16		^{99m} Tc	3.7×10 ⁵		介入科	新建	本次环评	/	
射线装置									
序号	射线装置名称	数量(台)	管电压 kV	管电流 mA	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评情况	验收情况
1	医用电子直线加速器	1	电子线≤22MeV, X线≤15MV		II	门诊综合大楼负一层4#加速器机房	未使用	闽环辐评[2018]5号, 已许可	未验收
2	医用电子直线加速器	1	电子线≤22MeV, X线≤15MV		II	门诊综合大楼负一层3#加速器机房	未使用	闽环辐评[2016]16号, 已许可	未验收
3	医用电子直线加速器	1	电子线≤22MeV, X线≤15MV		II	门诊综合大楼负一层2#加速器机房	使用	闽环辐评[2016]16号, 已许可	2020.11 验收
4	螺旋断层放疗设备(TOMO刀)	1	电子线≤6MeV, X线≤6MV		II	门诊综合大楼负一层 TOMO 刀机房	未使用	闽环辐评[2016]16号, 已许可	未验收
5	DSA	1	125	1000	II	门诊综合大楼四楼 DSA 杂交手术室	使用	闽环辐评[2018]34号, 已许可	2020.11 验收
6	DSA	1	125	813	II	门诊综合大楼三楼1#导管室	使用	闽环辐评[2016]16号, 已许可	2020.11 验收
7	DSA	1	125	813	II	门诊综合大楼三楼2#导管室	未使用		未验收
8	PET/CT	1	150	715	III	门诊综合大楼负一	使用	闽环辐评[2016]16	2020.11 验收

						楼 PET/CT 机房		号, 已许可	
9	SPECT	1	/	/	III	门诊综合大楼负一2#SPECT 机房	使用	闽环辐评 [2016]16 号, 已许可	2020.11 验收
10	模拟定位 CT	1	150	1250	III	门诊综合大楼负一楼模拟定位 CT 机房	使用	闽环辐评 [2016]16 号, 已许可	/
11	BNCT	1	能量: 2.75MeV 流强: 10mA		II	9号楼负一、负二层	未使用	闽环辐评 (2019) 49 号, 已许可	正在履行竣工环保手续
12	震波碎石机、移动 DR、牙片机、体检 CT、乳腺钼靶机、口腔锥形束计算机断层摄影、急诊 CT、骨密度仪、C 型臂、造影机等	共计 21 台	/	/	III	分布于门诊综合大楼 1~2 层放射科、3 层口腔科、4 层手术室, 及新建康复中心楼 2 层的体检科	使用	已备案、已许可	/

2、该单位现有辐射安全管理情况

(1) 辐射安全与环境保护管理机构

厦门弘爱医院已成立了由许树根为组长的辐射安全与环境保护管理机构负责辐射安全与环境保护管理工作, 并以正式文件形式任命, 满足管理机构的要求。

(2) 辐射安全管理规章制度

厦门弘爱医院已针对现有核技术利用项目和本项目制定了辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案, 主要包括《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射安全操作规程》、《核医学科岗位职责》、《设备检修维护制度》、《放射性同位素、射线装置使用登记制度》、《人员培训计划》、《个人剂量监测和职业健康管理制度》、《辐射环境监测方案》及《医院辐射事故应急处理预案》。

厦门弘爱医院辐射事故应急预案目前正在修订中，修订完成后，该单位制定的辐射安全管理规章制度较完备且具有一定的可行性，满足现有核技术利用项目和本项目对辐射安全管理规章制度的需求。该单位能够按照辐射安全管理规章制度进行管理，辐射工作人员也能够严格按照各项规章制度开展工作，满足环保相关管理要求。

(3) 辐射监测和年度评估

厦门弘爱医院每年均委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行监测，监测结果满足相关标准要求。每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交了上一年度的评估报告，满足环保相关管理要求。

(4) 个人剂量监测与健康体检

厦门弘爱医院现有辐射工作人员均已配备了个人剂量计，已定期（每季度一次）送有资质部门进行个人剂量监测，建立了个人剂量档案，现有辐射工作人员的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值要求。

医院已定期（不超过2年/次）组织现有辐射工作人员进行了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据最近一次职业健康体检报告（体检日期为2020.11~2022.6），医院现有辐射工作人员均可继续原放射工作，满足环保相关管理要求。

(5) 辐射安全和防护知识培训

根据医院提供的信息，厦门弘爱医院现有辐射工作人员32人，因疫情原因，目前12人培训证书已过期，医院已承诺尽快安排证书过期人员参加辐射安全与防护考核，成绩合格方可上岗。

(6) 运行情况

厦门弘爱医院开展核技术利用项目至今，未发生过辐射安全事故。

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强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{90}Y	悬浮液/中毒	使用	6.0×10^9	6.0×10^7	6.0×10^{11}	抽取、活度测量	很简单操作	门诊综合大楼负一层核医学科	手套箱内
2	^{90}Y	悬浮液/中毒	使用	5.0×10^9	5.0×10^7	5×10^{11}	介入注射	很简单操作	门诊综合大楼三楼 1#导管室	不贮存
3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体/低毒	使用	3.7×10^8	3.7×10^5	3.7×10^{10}	介入注射	很简单操作	门诊综合大楼三楼 1#导管室	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》（GB18871-2002）。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μ A)	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
放射性废水	液态	⁹⁰ Y	/	/	约 0.64m ³	≤10 Bq/L	直接排放	排入医院污水处理系统。
放射性废水	液态	^{99m} Tc	/	/	约 1m ³	总β≤10 Bq/L	由专用管道统一排入衰变池内	暂存核医学科衰变池中，衰变达到解控水平后进入医院污水处理站，最终排入市政污水管网
沾有放射性核素的一次性手套、注射器、西林瓶、输液管、患者体内导管、V瓶及有机玻璃防护罐、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	固体	⁹⁰ Y、 ^{99m} Tc	/	约 13kg	约 130kg	^{99m} Tc≤1×10 ² Bq/g; ⁹⁰ Y≤1×10 ³ Bq/g	分类收集于各场所的放射性废物桶内，送至核医学科放射性固体废物间暂存	收集后暂存于核医学科固体废物间，贮存 10 个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² ，对废物清洁解控，作为医疗废物处理。
手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	/	少量	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置。
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	微量	不暂存	最终排入大气，臭氧在常温下约 50 分钟自行分解为氧气。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液体单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³，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/m³)和活度(Bq)。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令第九号公布，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议修正，2018年12月29日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号公布，2003年10月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017修正版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修订版），国务院令第709号，2019年3月2日起修改施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正版），生态环境部部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《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；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(9) 《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》，国家环境保护总局文件，环发[2006]145号文；</p> <p>(10) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(11) 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103号，2014年1月1日起施行；</p> <p>(12) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日起施行；</p> <p>(13) 《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；</p> <p>(14) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021修改版），中华人民共和国国家发展和改革委员会令第49号修改，2021年12月30日起施行；</p>
-------------	--

	<p>(15) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》，生态环境部部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(16) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(17) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部2019年第38号公告，2019年11月1日起施行；</p> <p>(18) 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，2013年3月15日印发；</p> <p>(19) 《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》，闽环函[2020]22号，2020年9月23日印发；</p> <p>(20) 《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>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；</p> <p>(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)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(5) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；</p> <p>(6) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(9) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)；</p> <p>(10) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)；</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。</p>

(一) 参考资料:

- (1) 《辐射防护导论》，方杰主编。
- (2) 《辐射防护手册-辐射源与屏蔽》（第三分册），李德平、潘自强主编。
- (3) 《中国环境天然放射性水平》，国家环境保护局，1995年。

福建省厦门市原野、道路、建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率（单位：nGy/h）

	原野 γ 辐射剂量率范围	道路 γ 辐射剂量率范围	室内 γ 剂量率范围
范围	72.7~85.6	78.2~129.4	161.9~193.5
按点 均值 \pm 标准差	80.2 \pm 5.8	94.9 \pm 23.3	177.2 \pm 14.2

注：已扣除环境本底。

其他

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），运行期主要环境影响为电离辐射影响，根据本项目的辐射特点，并结合《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》（HJ10.1-2016）中“1.5 评价范围和保护目标：以项目实体边界为中心，放射性药品生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级、丙级取半径 50m 的范围。”的规定，因此，确定本项目评价范围为 1#导管室、留观病房及核医学科（SPECT 部分）场所边界外 50m 的区域。

7.2 保护目标

根据对本项目周围环境的现场踏勘和调查，本项目辐射工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内无学校等环境敏感区域，职业工作人员包括主要为本项目 DSA 操作人员、放射性药物操作人员和留观护理人员，公众人员包括医院工作人员、病人、陪护人员以及医院外流动人员。本项目周边具体环境保护目标见下表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标一览表

保护目标名称	方位	最近距离	规模	年剂量约束值
⁹⁰Y 治疗场所（1#导管室）				
辐射工作人员	1#导管室手术室及操作室内	紧邻	7 人	5 mSv/a
门诊综合大楼医护人员	四周及上下	0.3m	约 100 人	0.1 mSv/a
患者及患者家属	四周及上下	0.3m	流动人口	
院内道路行人	门诊综合大楼东侧及北侧	约 15m	流动人口	
核医学科（SPECT 部分）				
辐射工作人员	工作场所内	紧邻	4 人	5 mSv/a
门诊综合大楼医护人员	四周及上下	0.3m	约 100 人	0.1 mSv/a
患者及患者家属	四周及上下	0.3m	流动人口	
院内道路行人	门诊综合大楼东侧及北侧	约 15m	流动人口	
金山西路行人	门诊综合大楼北侧	约 45m	流动人口	
⁹⁰Y 治疗留观病房				
辐射工作人员	病房东侧护士站	紧邻	2 人	5 mSv/a
门诊综合大楼医护人员	四周及上下	0.3m	约 100 人	0.1 mSv/a
患者及患者家属	四周及上下	0.3m	流动人口	
院内道路行人	门诊综合大楼北侧	约 15m	流动人口	
金山西路行人	门诊综合大楼北侧	约 45m	流动人口	

7.3 评价标准

(1) 剂量限值

剂量限值适用于实践（如本项目）所引起的照射，而不适用于对病患者的医疗照射和无任何主要责任方负责的天然辐射源的照射。剂量限值分为有效剂量限值和对单个器官的当量剂量限值，根据本项目的情况，仅列出有效剂量限值。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2：

表 7-2 照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的照射水平进行控制，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。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： 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，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

(2) 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。”的规定，以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，核医学遵循辐射防护最优化原则，制定的本项目剂量约束值管理目标见表 7-3。

表 7-3 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
职业照射	5mSv/a
公众照射	0.1mSv/a

(3) 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。

对于需要专门防护手段或安全措施的区域划分为控制区，对于未被设定为控制区，不需要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，划分为监督区。对控制区和监督区的人员活动进行限制，辐射控制区和辐射监督

区以外区域对人员活动不限制。

(4) 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、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定的非密封源工作场所的分级，应按表 7-4 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 7-4 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。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-5 和表 7-6。

表 7-5 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 7-6 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	毒性组别修正因子			
	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

根据《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 4.2 款规定：辐射工作场所分级。应按照 GB18871 的规定，将辐射工作场所的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

表 7-7 本项目放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	本项目核素名称	毒性组别修正因子
中毒	^{90}Y	0.1
低毒	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.01

表 7-8 本项目放射性核素状态与操作方式修正因子

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

根据《辐射防护手册（第三分册）：辐射安全》P143 中的定义，很简单的操作，指会有少量的放射性物质散布开来，主要是要防止洒漏；简单的操作，可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染出现。

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）表 A.2 对于核医学科常见放射性核素状态与操作方式修正因子的要求，医院直接购置使用（或仅简单分装使用）的成品药如 ^{99m}Tc、⁹⁰Y 相关活动视为“很简单的操作”。

（5）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）中表 B11 和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的规定，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-9 的控制水平。

表 7-9 工作场所放射性表面污染控制水平单位：Bq/cm²

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

1) 该区内的高污染子区除外

（6）辐射剂量率控制水平

对于核医学工作场所控制区屏蔽防护效果评价，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的屏蔽要求：

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。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜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 25Sv/h。

6.1.7 固体放射性废物收集桶，应保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

(7) 放射性核素治疗患者出院要求

对于核医学服药患者出院条件，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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

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)
	β_{\max}	β_{ave}	γ 及 X		
^{32}P	1710	695	—	14.26	≤ 800
^{89}Sr	1492	583	—	50.53	≤ 200
^{90}Y	2284	934	—	2.67	≤ 2500
^{111}In	245	—	204	2.8047	≤ 780
^{131}I	606	—	364	8.0207	≤ 400
^{153}Sm	881	224	103	1.93	≤ 2500
^{186}Re	1070	349	137	3.8	≤ 9000
^{188}Re	2120	—	155	0.7	≤ 9000
^{198}Au	1372	—	411	2.696	≤ 1000
^{201}Tl	167	—	61	3.038	≤ 5100

注：资料来自IAEA 63号安全报告（2009）。

(8) 气态放射性废物的管理

对于气态放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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。

(9) 固体放射性废物的管理

对于固体放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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

7.2.3.1 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/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²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 24h 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 24h 的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于 4Bq/cm²、其他α发射体应小于 0.4Bq/cm²。

对于放射性核素的豁免，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求：

附录 A 豁免 A2 可豁免的源与豁免水平中 A2.1 b) 条款规定：符合以下要求的放射性物质，即任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表 A1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平。

查询表 A1，得到本项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 和 ⁹⁰Y 的豁免活度浓度分别为 (1×10²)Bq/g 和 (1×10³)Bq/g。

A2.2 c) 条款规定：如果存在一种以上的放射性核素，仅当各种放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比之和小于 1 时，才可能考虑给予豁免。

（10）液体放射性废物的管理

放射性废水的排放，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求：

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

1) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}(ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；

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

ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，根据 GB18871-2002，ALI_{min} 的计算方法如下：

$$ALI_{min} = \frac{DL}{e_j}$$

其中 DL 为职业人员年剂量限值，取 20mSv/a；e_j 为该核素单位摄入量所致待积有效剂量，可查 GB18871-2002 表 B.3 工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量 e (g) 中的较大值。

由此计算本项目核素 ALI_{min} 见下表：

序号	核素名称	e (g) 中的较大值 (Sv/Bq)	ALI _{min} (Bq)
1	⁹⁰ Y	2.70×10 ⁻⁹	7.4×10 ⁶

（11）其他标准

- ① 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）
- ② 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

③ 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置、周边环境和选址合理性分析

厦门弘爱医院位于福建省厦门市湖里区仙岳路 3777 号。

本项目核医学科位于门诊综合大楼负一层，1#导管室位于门诊综合大楼三层，留观病房位于二号住院楼十层。

门诊综合大楼位于医院东侧，共计七层，包括地下两层（加速器区域仅有地下一层）和地上五层。该门诊综合大楼北部区域的六层以上加建医院住院楼（6~17层）。门诊综合大楼的东侧依次为院内道路、绿化、医院东围墙，围墙外为金山路；南侧依次为规划支路、公共绿地、仙岳路；西侧依次为院内道路和康复中心楼；北侧依次为院内绿化、道路、医院北围墙，围墙外为金山西路。

核医学科（SPECT 部分）50m 范围内东侧为核医学科（PET 部分、 ^{131}I 甲癌治疗部分）、直线加速器机房、大楼边界及院内道路，南侧为医生办公室及停车场，西侧为住院药库，北侧为医生办公室、模拟 CT 机房、大楼边界、院内道路、金山西路，楼上为急诊大厅，楼下为车库。

1#导管室 50m 范围内东侧为大楼边界、院内道路，南侧为控制室、预留机房、配电房及电梯厅，西侧为走廊、FISH 操作室及医生办公室，北侧为医生办公室、机房、大楼边界及院内道路，楼下为胃镜室，楼上为手术室。

留观病房 50m 范围内东侧为普通病房，南侧为二号住院楼边界，再往南为门诊综合大楼，西侧为二号住院楼边界，再往西为康复中心楼，北侧为楼梯间、大楼边界、院内道路、金山西路，楼下为病房，楼上为病房。

本项目环境现状见图 8-1。



图 8-1 核医学科分装室



图 8-2 核医学科 SPECT 机房



图 8-3 分装室楼上急诊大厅

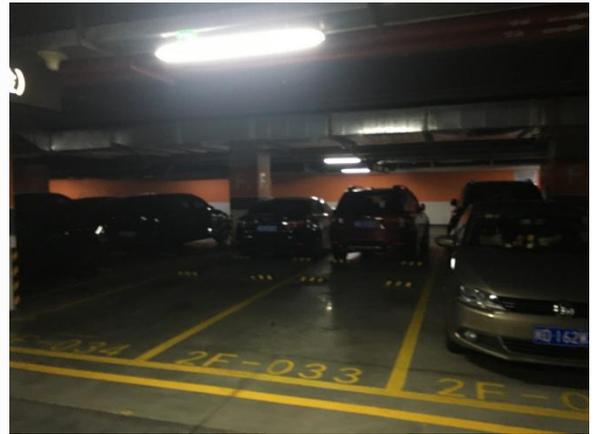


图 8-4 核医学科楼下停车场



图 8-5 1#导管室



图 8-6 1#导管室南侧控制室



图 8-7 1#导管室西侧走廊



图 8-8 1#导管室北侧医生办公室



图 8-9 1#导管室楼上手术室



图 8-10 1#导管室楼下胃镜室



图 8-11 留观病房

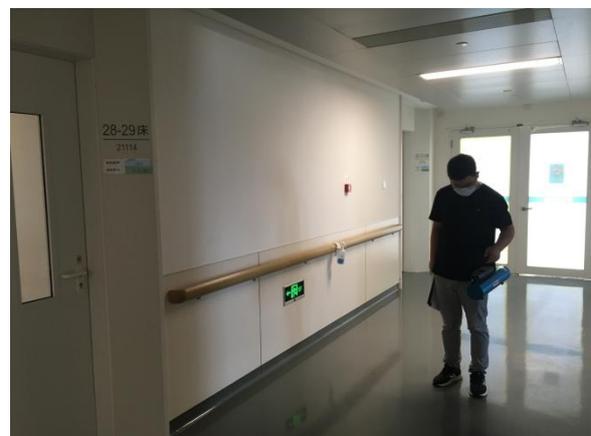


图 8-12 留观病房北侧通道

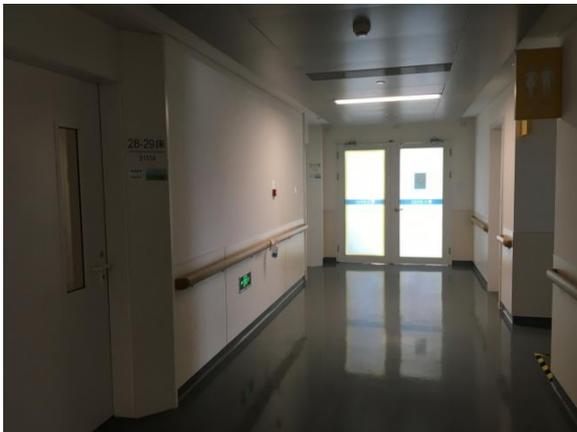


图 8-13 留观病房楼上病房



图 8-14 留观病房楼下病房

8.2 辐射环境现状调查及评价

本项目为使用 ^{90}Y 树脂微球治疗，其活动种类和范围为使用非密封放射性物质、乙级非密封工作场所。项目在进行现状调查时，主要调查本项目拟建址及周围环境的辐射水平、 β 表面污染。

1、检测因子、检测方法

环境现状评价对象：项目拟建址及周围辐射环境现状

检测因子： γ 辐射剂量率、 β 表面污染

检测方法：《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

《表面污染测定第 1 部分 β 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）。

2、检测点位布设

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的布点原则进行布点， γ 辐射剂量率共计布点 18 个， β 表面污染共计布点 7 个，重点调查本项目拟建址及周围环境，具体点位见图 8-15。

3、检测单位、检测时间和检测仪器

检测单位：江苏核众环境监测技术有限公司（CMA 资质认定证书编号：171012050259）

检测报告编号：（2022）苏核环监（综）字第（0898）号

检测时间：2022 年 9 月 16 日

检测天气：晴

（1）仪器名称：辐射巡测仪 FH40G + 探头 FHZ672E-10

仪器编号：030360 + 11395

能量响应范围：40keV~4.4MeV

量程范围：1nSv/h~100 μ Sv/h

检定单位：江苏省计量科学研究院

检定证书编号：Y2022-0026598

检定有效期：2022.4.8~2023.4.7

（2）仪器名称：表面沾污仪 RADIAGEM2000+SABG-100

仪器编号：5073+0792

α/β 辐射测量范围：0-10000cps

能量响应范围： $\alpha>3\text{MeV}$ ， $\beta>150\text{keV}$

检定单位：江苏省计量科学研究院

检定证书编号：Y2022-0085723

检定有效期：2022.9.7~2023.9.6

4、质量保证措施、检测结果

(1) 质量保证措施

- ①委托的检测机构已通过计量认证，具备有相应的检测资质和检测能力；
- ②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；
- ③委托的检测机构所采用的检测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；
- ④所有检测人员均通过专业的技术培训，并通过江苏省社会辐射环境检测机构技术人员上岗考核；
- ⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查，确保工作状态正常；
- ⑥检测报告实行三级审核，经过校对、校核，最后由授权签字人签发。

(2) 检测结果及评价

厦门弘爱医院 ^{90}Y 树脂微球核素治疗及周围环境辐射水平检测结果见表 8-1，项目周围 β 表面污染检测结果见表 8-2，环境检测点位见图 8-15~图 8-17。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点序号	点位描述		测量结果 (nSv/h)	备注
1	核医学科 内	分装室内	149	检测时，核医学尚未开始工作，分装室内无药物贮存。
2		分装室楼上（急诊大厅）	137	
3		分装室楼下（停车场）	177	
4		SPECT 机房内	131	
5		SPECT 机房控制室内	141	
6		SPECT 机房楼上（急诊大厅）	135	
7	介入科	1#导管室手术室内	120	DSA 未开机。
8		1#导管室南侧控制室内	172	
9		1#导管室西侧通道	130	
10		1#导管室北侧医生办公室内	140	
11		1#导管室楼上手术室门口	145	
12		1#导管室楼下胃镜室门口	162	
13	留观病房	二号楼住院楼十层（21014）房间内	166	/
14		二号楼住院楼十层（21015）房间内	170	
15		二号楼住院楼十层留观病房北侧通道	174	
16		二号楼住院楼十层留观病房东侧病房内	166	
17		二号楼住院楼十层留观病房楼下病房内	175	
18		二号楼住院楼十层留观病房楼上病房内	160	

注：表中数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值（19.4nSv/h）

表 8-2 项目周围环境 β 表面污染检测结果

测点序号	点位描述		测量结果 (Bq/cm ²)	备注
1	核医学科内	分装室内	未检出	检测时，核医学尚未开始工作，分装室内无药物贮存。
2		SPECT 机房内	未检出	
3		SPECT 机房控制室内	未检出	
4	介入中心	1#导管室手术室内	未检出	/
5		1#导管室南侧控制室内	未检出	
6	留观病房	二楼住院楼十层（21014）房间内	未检出	
7		二楼住院楼十层（21015）房间内	未检出	

注： β 表面污染探测下限为 0.058Bq/cm²。

本项目 FH40G+FHZ672E-10 型辐射巡测仪在江苏省南京市溧水区石臼湖水面上（测点处水深>3m，距岸边>1km，地理经度：118.94742966°，地理纬度：31.50216570°，海拔高度：5m，仪器放置于木制船体上，船体内无压舱石）对宇宙射线的响应值为 19.4nSv/h，本项目所在地地理经度为 118.172627°，地理纬度为 24.506408°，海拔高度为 20m，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中宇宙射线响应值修正方法可计算得出，本项目测点处 FH40G+FHZ672E-10 型辐射巡测仪对宇宙射线的响应值为 19.4nSv/h。

根据检测结果可知，本项目拟建址及周围室内 γ 辐射剂量率为（120~177）nSv/h，即 γ 空气吸收剂量率为（100~147.5）nGy/h。（本项目检测仪器使用 ¹³⁷Cs 作为检定参考辐射源，根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），换算系数取 1.20Sv/Gy）。测量结果与地面（包括周围建筑）、地下水位、土壤成分及含水量、放射性物质地面沉降、射气的析出和扩散条件等环境因素有关，本项目可能受以上部分环境因素影响，测量结果低于《中国环境天然放射性水平》中福建省厦门市室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率正常范围（室内（161.9~193.5）nGy/h）。

核医学科、1#导管室、留观病房等区域 β 表面污染测量值均为未检出。



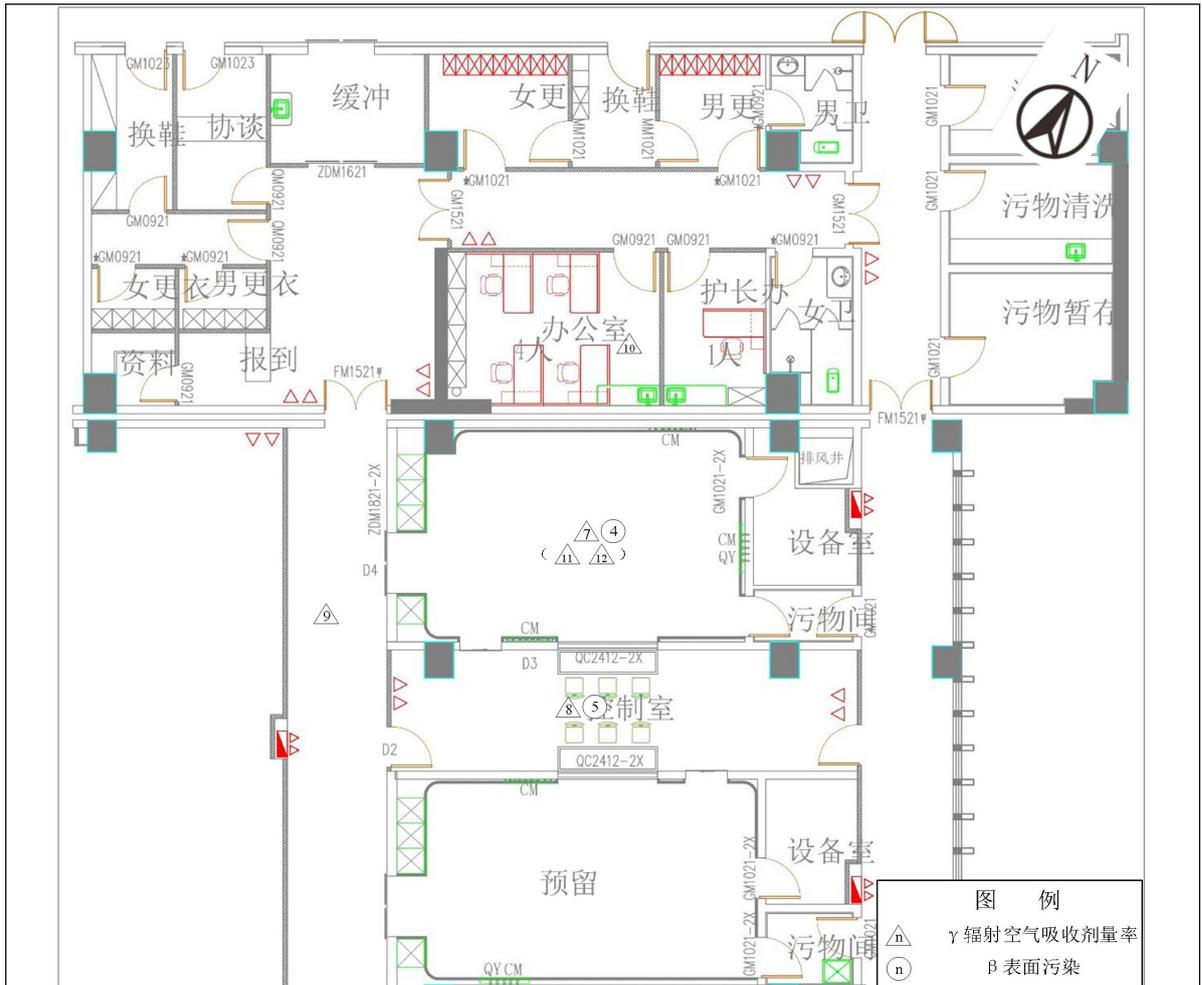


图 8-16 厦门弘爱医院介入科周围检测点位图

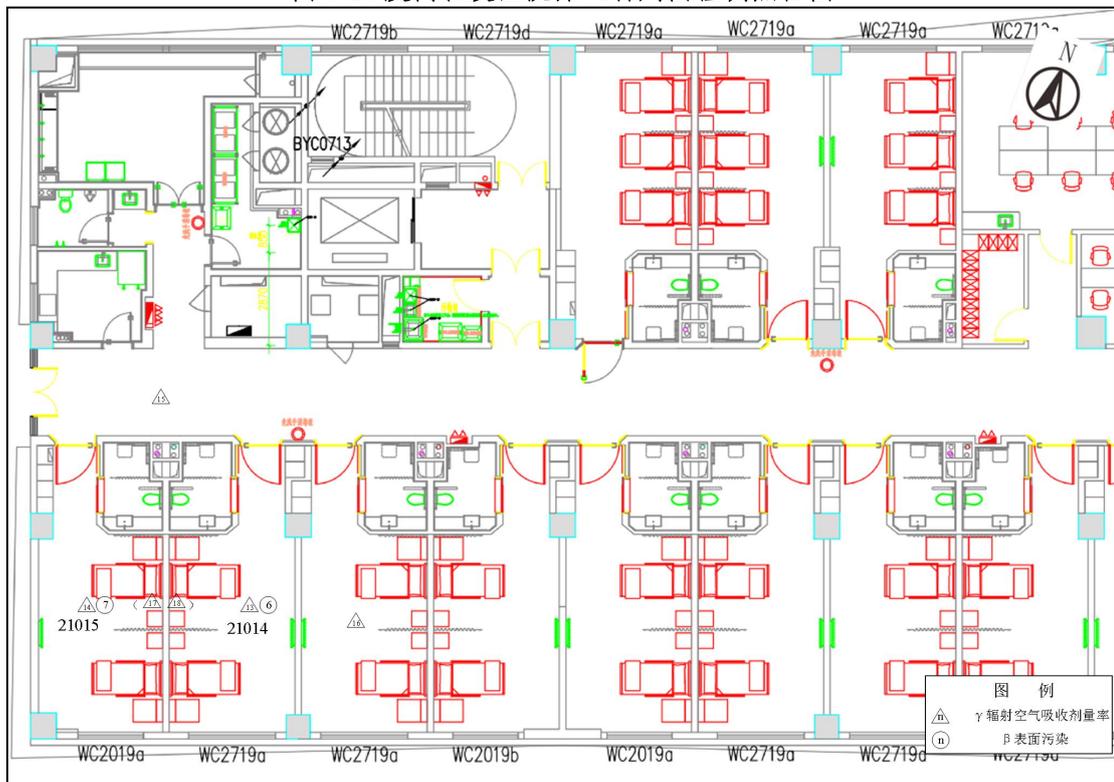


图 8-17 厦门弘爱医院留观病房周围检测点位图

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 工程设备

本项目每瓶 ^{90}Y 树脂微球到医院的活度为 3GBq ， ^{90}Y 树脂微球剂量瓶外含 1 个透明的有机玻璃瓶防护罩，放置在具有 6.4mm 铅当量的防护罐中，防护罐置于一塑料小桶内，小桶放置在货包中。

9.1.2 工艺分析

9.1.2.1 工作原理

^{90}Y 半衰期为 2.67 天，是通过化学方法从铽-90 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的特点。 ^{90}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为 11mm 。

^{90}Y 树脂微球是一款靶向放射治疗产品，由含有 ^{90}Y 的生物相容性树脂微球组成，直径为 $20\text{-}60\mu\text{m}$ ，密度约为 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，比重 1.6（血液 1.097），可随血液滞留于肿瘤末梢血管，持续照射以达到治疗的目的。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 β 辐射起到杀死癌细胞的目的，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。

9.1.2.2 工作流程

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

1、第一阶段

在治疗前 7~14 天需使用锝标记聚合白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$) 注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗。该阶段锝标记聚合白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$) 注射过程在门诊综合大楼三楼 1#导管室内完成，其原理为：锝标记聚合白蛋白 ($^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$) 为一种对人体无害的诊断用蛋白，分子大小近似 ^{90}Y 树脂微球，可模拟 ^{90}Y 树脂微球于体内分布的状态，确保 ^{90}Y 树脂微球会停驻在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官的放射性伤害。厦

门弘爱医院本次新建⁹⁰Y树脂微球治疗项目该阶段^{99m}Tc放射性核素单人次使用量约为5mCi，拟使用的钨标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）为有资质供货商按照医院所需用量分装好的针剂。该阶段工作流程具体如下：

①提前1天填写血管造影同意书，并通知禁食6~8小时，送检前排空尿液；

②患者至1#导管室（门诊综合大楼3楼）进行血管造影，放置导管并栓塞胃肠侧枝血管（插管过程需借助DSA血管造影技术）；将运送至1#导管室的^{99m}Tc-MAA与一次性输入装置组装完毕，于1#导管室内经导管将^{99m}Tc-MAA注入（输注过程需借助DSA出束照射）；注射完毕后需借助DSA出束照射将导管取出。

③2h内进入SPECT机房内接受SPECT扫描，扫描完成后，患者即可从患者专用通道离开。

④医生根据显像结果，了解钨标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）在人体分布情况，确定患者是否适合⁹⁰Y树脂微球治疗。

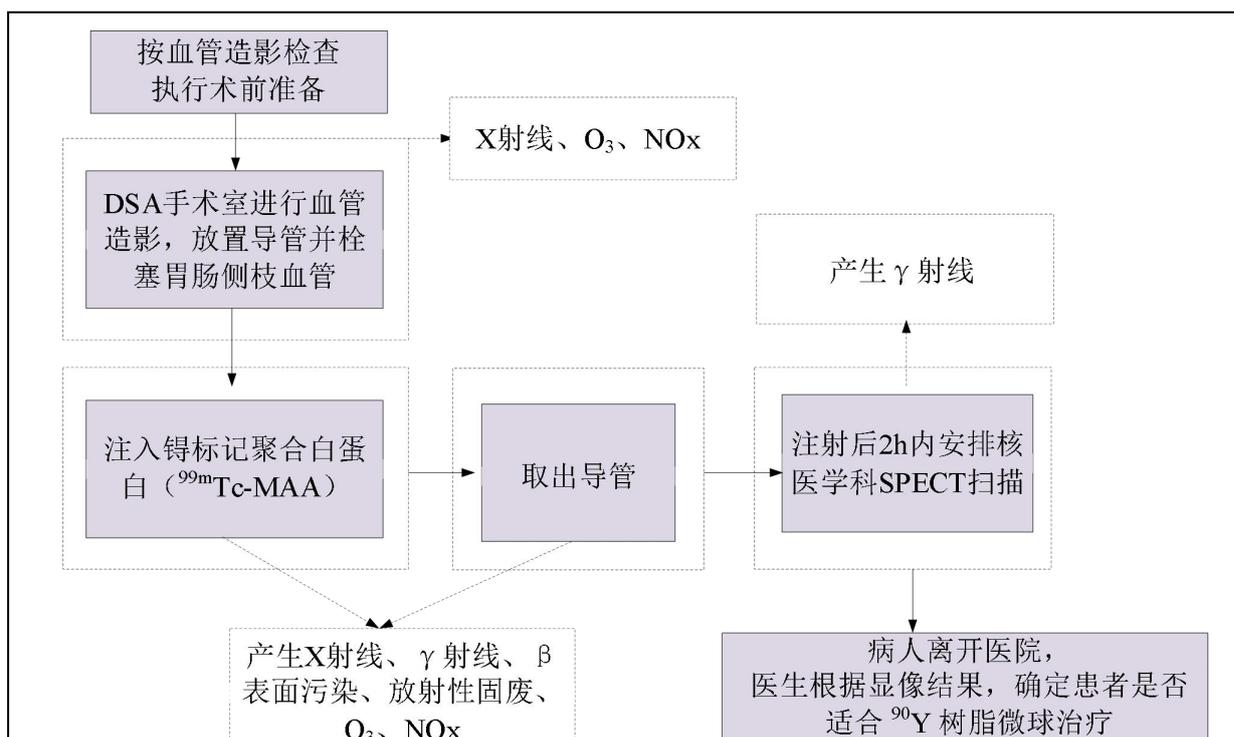


图 9-1 ⁹⁰Y树脂微球治疗第一阶段流程及产污环节

2、第二阶段

在第一阶段，若确定患者适合⁹⁰Y树脂微球治疗，则需在7~10天内完成⁹⁰Y树脂微球输注，医院根据患者具体情况，制定治疗方案及手术时间后，按照处方剂量向供货公司提前订购⁹⁰Y树脂微球。⁹⁰Y树脂微球剂量瓶外含1个透明的有机玻璃瓶防护罩，被放置在1个6.4mmPb铅罐内由供货商送入门诊综合大楼负一层，经质检人员核对放射性药

物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药公司办理交接手续后，妥善放入核医学科储源室保险柜中。使用时根据患者情况确定需要的放射性药物活度，该阶段涉及到的⁹⁰Y树脂微球操作过程包括放射性药物活度测量和抽取。图9-2给出⁹⁰Y树脂微球准备环节基本过程。每剂⁹⁰Y树脂微球在西林瓶中，总活度为 3.0×10^9 Bq，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⁹⁰Y树脂微球，剩余⁹⁰Y树脂微球作为放射性固体废物进行处理。

测量时，先将无菌V型瓶置于15mm有机玻璃V架上，将V型瓶去除铝封并消毒，并在V型瓶盖上插好通气针。工作人员手持内置⁹⁰Y树脂微球西林瓶的防护罐（未打开）进行摇晃，持续时间大约30s/例，以使微球重新悬浮。摇匀后，迅速打开防护罐盖子，使用长柄镊子夹取含⁹⁰Y树脂微球的西林瓶放置在活度计测井内，测量⁹⁰Y树脂微球总活度并进行记录。在分装柜铺有吸水纸的托盘内，打开铅罐盖子，用镊子去除西林瓶的铝封盖并消毒，插好通气针，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⁹⁰Y树脂微球混合均匀，抽取一定量的⁹⁰Y树脂微球注入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，从V型瓶上取下排气针，消毒瓶盖，然后用塞子塞住V型瓶支架上端的开口。⁹⁰Y树脂微球的活度测量、抽取过程均在核医学科手套箱内开展。



图9-2 药物的准备及分装流程

3、第三阶段

分装好的⁹⁰Y树脂微球装在V瓶中，使用时，取出送入门诊综合大楼三楼1#导管

室。第三阶段具体工作流程如下：

①提前 1 天填写血管造影同意书，并通知禁食 6~8 小时，送检前排空尿液；

②患者至 1#导管室（门诊综合大楼 3 楼）进行血管造影，放置导管并栓塞胃肠侧枝血管（插管过程需借助 DSA 血管造影技术）；将运送至 1#导管室的 ^{90}Y 树脂微球与一次性输入装置组装完毕，于 1#导管室内经导管将 ^{90}Y 树脂微球注入（输注过程需借助 DSA 出束照射）；注射完毕后需借助 DSA 出束照射将导管取出。

③患者进入 ^{90}Y 树脂微球患者专用留观病房留观，按照医院管理规定患者术后一般住院 12~24h；

④治疗 24h 内安排时间至核医学科使用 SPECT 融合扫描，扫描时间约为 20min，确定 ^{90}Y 树脂微球体滞留位置。

新增 ^{90}Y 树脂微球治疗项目工作流程及产污环节分析见图 9-3。

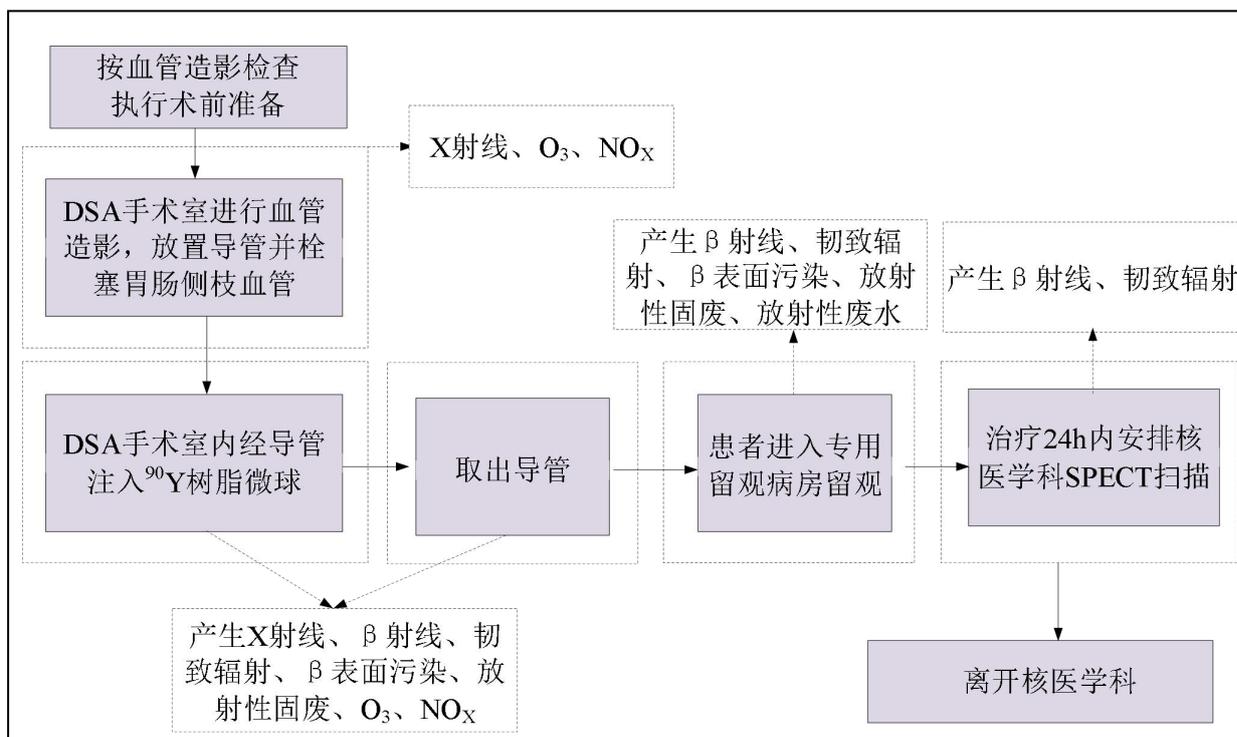


图 9-3 ^{90}Y 树脂微球治疗项目工作流程及产污环节示意图

9.1.3 劳动定员和工作负荷

(一) 劳动定员

根据医院提供的资料和 ^{90}Y 树脂微球治疗流程，本项目依托核医学科及介入科现有辐射工作人员，拟从核医学科及介入科现有辐射工作人员中抽调 13 人从事本项目辐射工作，本项目不额外新增辐射工作人员。本项目辐射工作人员基本信息见表 9-1。

表 9-1 本项目辐射工作人员基本信息一览表

姓名	科室	工作岗位	工作职责
张凤阁	核医学科	医师	术前检查与评估、治疗剂量估算
杨家友		医师	
袁鸿珍		技师	SPECT 扫描
郑旭		护士	树脂微球药物准备、分装和转运； ^{99m} Tc 药物转运
李槐	介入科	医师	制定手术计划、导管植入、药物推注
曾英琅		医师	
黄文玉		医师	
耿方明		医师	DSA 操作
康远逢		技师	
李志东		技师	
洪艳	护士	辅助工作	
赖瑛瑛	留观病房	护士	术后 ^{99m} Tc、 ⁹⁰ Y 患者的转运、 ⁹⁰ Y 患者术后护理
黄延妍		护士	

(二) 工作负荷

本项目每天最多治疗 2 例病人，年最多治疗 200 例病人（其中 ^{99m}Tc 病人 200 台手术，⁹⁰Y 病人 200 台手术），核医学科辐射工作人员进行 ⁹⁰Y 树脂微球准备及转移至 V 瓶约 10min；⁹⁰Y 树脂微球或 ^{99m}Tc 药物由核医学转运至手术室约 3min；⁹⁰Y 树脂微球或 ^{99m}Tc 药物输注时单个患者最多为 6min；⁹⁰Y 带药病人由手术室转运至留观病房约 5min；⁹⁰Y 带药病人由留观病房转运至核医学科约 8min；^{99m}Tc 带药病人由手术室转运至核医学科约 3min；⁹⁰Y 带药病人在 SPECT 机房单人扫描时间约 20min；每台手术 DSA 出束时间约 20min。

9.2 日等效最大操作量核算

医院采购的 ⁹⁰Y 树脂微球由供应商运送至医院核医学科，每剂 ⁹⁰Y 树脂微球在西林瓶中，总活度为 $3.0 \times 10^9 \text{Bq}$ ，容积为 5mL，每位患者注射 1.5~2.5GBq 即可满足治疗需求，每位患者对应 1 瓶 ⁹⁰Y 树脂微球，剩余 ⁹⁰Y 树脂微球作为放射性固体废物处理。

厦门弘爱医院提供了本项目放射性核素的日最大操作量和年总量，见表 9-2。

表 9-2 本项目放射性同位素日最大操作量及年总用量核算一览表

⁹⁰ Y	负一层核医学科	日最大用量	单次最大使用量 $3 \times 10^9 \text{Bq} \times$ 日最高峰人数 2 人 = $6.0 \times 10^9 \text{Bq}$
		年总用量	单次最大使用量 $3 \times 10^9 \text{Bq} \times$ 年门诊量 200 人 = $6.0 \times 10^{11} \text{Bq}$
	三楼 1#导管室	日最大用量	单次最大使用量 $2.5 \times 10^9 \text{Bq} \times$ 日最高峰人数 2 人 = $5.0 \times 10^9 \text{Bq}$
		年总用量	单次最大使用量 $2.5 \times 10^9 \text{Bq} \times$ 年门诊量 200 人 = $5 \times 10^{11} \text{Bq}$
^{99m} Tc	负一层核医学科	日最大用量	单次最大使用量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq} \times$ 日最高峰人数 2 人 = $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$
		年总用量	单次最大使用量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq} \times$ 年门诊量 200 人 = $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$
	三楼 1#导	日最大用量	单次最大使用量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq} \times$ 日最高峰人数 2 人 = $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$

	年总用量	单次最大使用量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq} \times \text{年门诊量 } 200 \text{人} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$
--	------	--

根据核素的日最大操作量，经过乘以“毒性组别”系数和除以“物理状态及操作方式”系数的双重修正，厦门弘爱医院核素的日等效最大操作量核算见表 9-3。

表 9-3 本项目核素日等效最大操作量核算一览表

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	毒性组别 (系数)	物理状态及操作方式 (系数)	日等效最大操作量 (Bq)
负一层核医学科	^{90}Y	6.0×10^9	中毒 (0.1)	悬浮液，很简单操作 (10)	6.0×10^7
三楼 1#导管室		5.0×10^9	中毒 (0.1)	悬浮液，很简单操作 (10)	5.0×10^7
负一层核医学科	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.7×10^8	低毒 (0.01)	液体，很简单操作 (10)	3.7×10^5
三楼 1#导管室		3.7×10^8	低毒 (0.01)	液体，很简单操作 (10)	3.7×10^5

由上述表 9-3 可知，①核医学科对 ^{90}Y 进行抽取、活度测量活动时，其日等效最大操作量为 $6.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，核医学科已许可的日等效最大操作量约为 $3.92 \times 10^9 \text{Bq}$ ，累计本项目后核医学总日等效最大操作量为 $3.83 \times 10^9 \text{Bq}$ ；②三楼 1#导管室开展 ^{90}Y 介入注射活动时，其日等效最大操作量为 $5.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，三楼 1#导管室开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 介入注射活动时，其日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ；根据本项目治疗流程，本项目 1#导管室内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 不同一天操作（一般间隔 1~2 周），根据医院提供的资料，亦不存在 1#导管室内 2 位患者同一天操作 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 的情况，因此日等效最大操作量不叠加。

因此本项目投入运行后核医学科总日等效最大操作量约为 $3.83 \times 10^9 \text{Bq}$ ，介入科日等效最大操作量为 $5.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，均属于 GB18871 中乙级非密封放射性物质工作场所范围 ($2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$)。

9.3 污染源项描述

9.3.1 施工期污染源项描述

厦门弘爱医院新建 ^{90}Y 树脂微球治疗项目依托原有核医学科、介入科及病房开展，不存在建设阶段环境影响。

9.3.2 运行期污染源项描述

9.3.2.1 正常工况

由上述工程分析和产污环节可知，本项目主要产生以下污染：

1、放射性污染

本项目使用的放射性核素特性列于下表。

表 9-4 放射性核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT	-	0.140	3.03×10^{-14}
^{90}Y	2.67d	β^-	2.284	-	-

(1) 本项目使用的 DSA 管电压为 125kV，管电流为 813mA；在使用 DSA 进行介入手术时，会产生 X 射线。

(2) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素衰变方式为同质异能跃迁，伴随发射 0.14MeV 的 γ 射线； ^{90}Y 放射性核素衰变产生的 β 射线， β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射；本项目放射性药物在分装、质控与注射过程中可能会发生药物撒落事故，对工作台、设备、墙壁、地面等产生放射性沾污，造成 β 局部放射性表面污染。

综上可知，本项目辐射源项见表 9-5。

表 9-5 辐射源项的分布

序号	工作场所或操作过程	主要辐射源项
1	分装室（分装、活度测量）	放射性药物（ β 射线、 γ 射线）
2	药物转移	放射性药物（ β 射线、 γ 射线）
3	1#导管室（注射、血管造影）	受检者（ β 射线、 γ 射线、X 射线）
4	SPECT 机房（扫描检查）	受检者（ β 射线、 γ 射线）
5	受检者检查完成离开和转移过程	受检者（ β 射线、 γ 射线）
6	留观病房（留观）	受检者（ β 射线）

2、放射性废气

^{90}Y 树脂微球药品中，绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量（0.04~0.4%） ^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为分装好的针剂，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

3、放射性废水

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，本项目产生的 ^{90}Y 废水将直接排放，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，本项目产生的 ^{90}Y 废水不再作为放射性废水处理。

4、放射性固体废物

①核医学科： ^{90}Y 树脂微球治疗项目分装质控过程中产生的剂量瓶、滤纸、注射器、擦拭废纸、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦

拭废纸等，约 200g/例；②介入科： ^{90}Y 树脂微球治疗项目输注过程中产生的剂量瓶、一次性使用输注装置、输注导管、纱布、毛巾、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦拭废纸等，约 450g/例；综上，开展一次 ^{90}Y 树脂微球介入治疗产生放射性固体废物约 0.65kg。上述放射性固废可能会对周围环境产生一定的危害；污染途径为操作过程中及放射性固废收集过程中、贮存衰变时对辐射工作人员和周围公众产生的外照射。

5、非放射性污染

①废气：DSA 机运行期产生的废气主要为 X 射线与空气发生相互作用产生的微量臭氧和氮氧化物。

②废水：项目运行期不产生医疗废水，产生的废水主要为生活污水。

③固体废物：项目运行期产生的固体废物主要为手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物和生活垃圾。

9.3.2.2 事故工况

本项目可能发生的辐射事故如下：

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

(2) 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；

(3) 放射性药物被盗、丢失等；

(4) 用药后病人未经允许脱离控制区，尤其是在用药初期离开候诊室或病房，可能对接近患者的人员造成额外照射；

(5) 治疗期间人员误入核医学科及介入科控制区内受到误照射；

(6) DSA 设备控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到的计划外照射。

事故工况下的辐射污染因子与正常工况下的污染因子一致。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所两区划分合理性

厦门弘爱医院拟在门诊综合大楼三楼介入科 1#导管室内开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，借助介入科 1#导管室内的 UNIQ Clarity FD20 型 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，达到肝癌治疗的目的；并把二号住院楼十层 21014、21015 两间病房设置为 ^{90}Y 树脂微球患者专用留观病房（目前病房为双人间，实际使用过程中仅作为单人间使用）， ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的贮存、质控、分装和扫描依托于门诊综合大楼负一层核医学科工作场所。在实施治疗前 7~14 天需使用锝标记的亚锡聚合白蛋白（ $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ ）注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗，该阶段 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素单人次使用量为 1~5mCi， $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 的注射在三楼介入科 1#导管室内进行，扫描在核医学科 SPECT 机房内进行。

为加强辐射防护管理和职业照射控制，本项目拟将患者专用留观病房作为辐射防护控制区，严格控制人员进出；拟将留观病房北侧屏蔽体外 30cm 作为辐射防护监督区。本项目 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的贮存、质控、分装与扫描依托于门诊综合大楼负一层核医学科工作场所，本项目药物注射依托门诊综合大楼三层介入科 1#导管室，以上场所已按照要求划分了控制区和监督区，本项目不改变其分区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。

留观病房控制区与监督区划分见图 10-1。

综上所述，本项目工作场所分区合理。

10.1.2 工作场所布局

本项目涉及的辐射工作场所位于门诊综合大楼负一层核医学科、三层介入科及二号住院楼十层病房，相关用房均为利用原有场所，本项目不对工作场所布局及屏蔽防护工程进行调整，根据《厦门弘爱医院（厦门仁爱医疗基金会筹）新建核技术应用项目环境影响报告表》，本项目布局合理。

。



图 10-1 留观病房控制区与监督区划分图

10.1.3 工作场所路径规划

医护人员路线见图 10-2 和图 10-3 中蓝色箭头指示：

①核医学科：分装人员经由 M1 进入医护人员通道，经由 M2 进入更衣室，再经由 M3、M4 进入分装室，工作结束后原路返回。SPECT 操作人员经由 M1 进入医护人员通道，再经由 M5、M6 进入控制室，工作结束后原路返回。

②介入科：介入科工作人员经由 D6 进入换鞋，然后至更衣室更衣后，再经由 D2 进入控制室。医护人员经由 D3 进入手术室内开展手术，工作结束后原路返回。

患者路线见图 10-2 和图 10-3 中红色箭头指示：

①核医学科：病人注射 ^{99m}Tc 后由护士护送，通过专用电梯 1 至核医学科，经门 M12 进入核医学科控制区，再经门 M10 进入 SPECT 机房进行扫描检查，检查完成后经核医学科专用出口离开。

② ^{90}Y 介入治疗：病人由 D7 进入缓冲间，经 D4 推入机房，等候 ^{90}Y 树脂微球介入治疗。手术完成后，介入治疗科护士将患者由 1#导管室经患者通道、公共走廊（途径病理科和肿瘤科日间病房）、乘坐专用电梯 2 到达二号住院楼 10 病区专用病房。留观后，由原路（经介入科专用电梯）进入核医学科进行扫描，扫描后离开核医学科。

药物路线见图 10-2 和图 10-3 中绿色箭头指示：

含 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 的放射性药物由专业供货商经核医学科专用电梯 1 送至核医学科，核医

学科工作人员经门 M12、门 M9、门 M8 送至分装室手套箱内，结束后原路返回。核医学科工作人员根据患者的治疗需求，抽取分装好 ^{90}Y 树脂微球（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 送来时已分装好），手术当天核医学科辐射工作人员在患者就诊前送至 1#导管室，通过采取临时管控措施，避免放射性药物与其他人员发生交叉。

放射性废物：

①核医学科： ^{90}Y 树脂微球治疗项目分装质控过程中产生的剂量瓶、滤纸、注射器、擦拭废纸、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦拭废纸等；②介入科： ^{90}Y 树脂微球治疗项目输注过程中产生的剂量瓶、一次性使用输注装置、输注导管、纱布、毛巾、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦拭废纸等；废物均单独暂存于铅废物桶内，铅废物桶内放有专用塑料袋，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存。

本次新建 ^{90}Y 树脂微球治疗项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序。手术当天由放射性药物由核医学科辐射工作人员在患者就诊前送至 1#导管室内，避免放射性药物与其他人员发生交叉。本项目工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于临床核医学工作场所的要求。

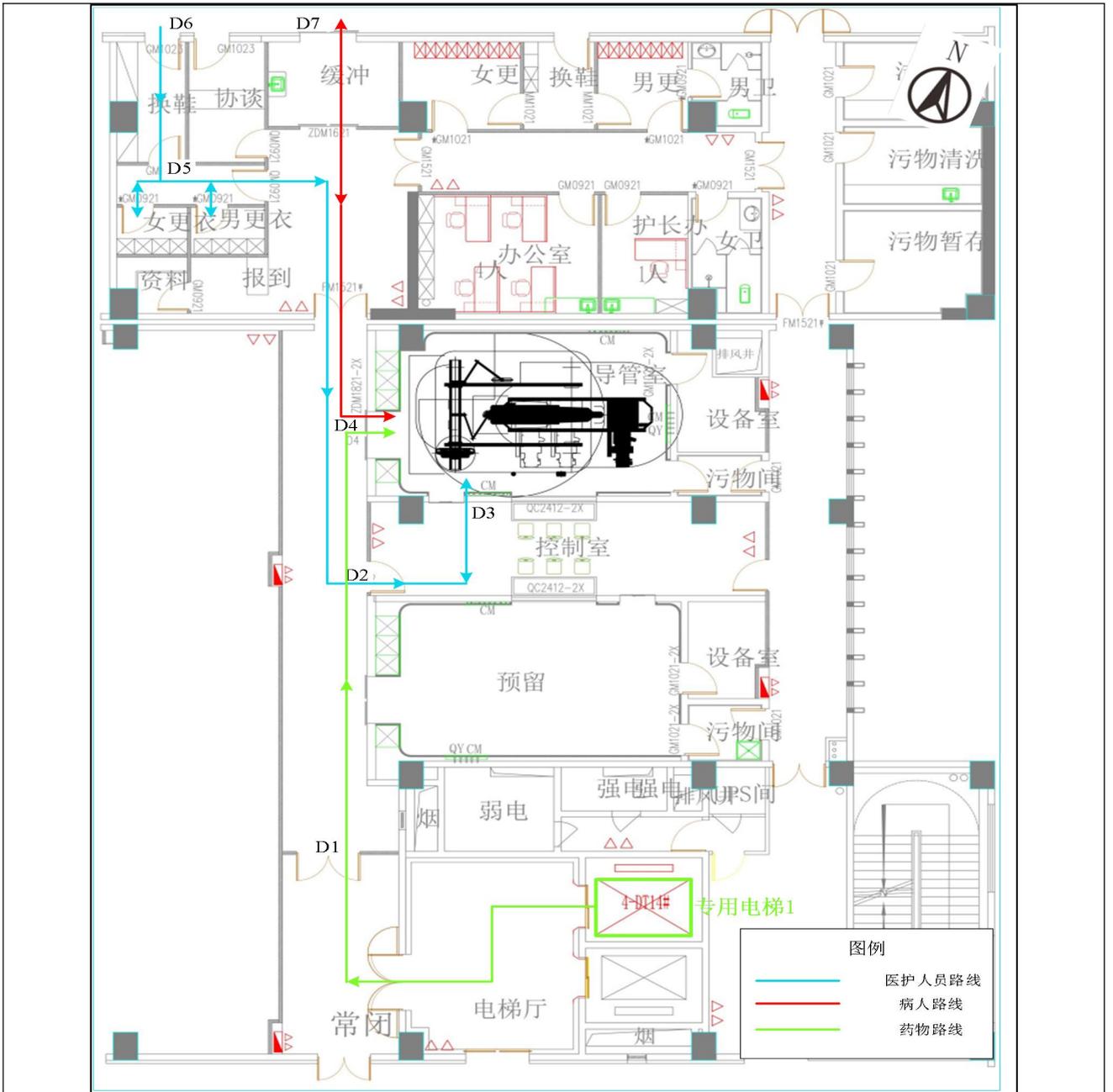


图 10-2-1 1#导管室人流、物流示意图



图 10-2-2 病人入住留观病房及留观后扫描路径示意图



10.1.3 辐射工作场所辐射防护屏蔽设计

厦门弘爱医院提供的屏蔽防护参数见表 10-1。

表 10-1 本项目屏蔽防护参数

场所	面积	屏蔽体	屏蔽材料及厚度
1#导管室	35.1m ² (6.76m×5.20m)	四周墙体	24cm 实心砖+3mmPb 防护涂料
		地板	12cm 混凝土+3mmPb 防护涂料
		顶棚	12cm 混凝土+3mmPb 防护涂料
		防护门	双面 10mm 彩钢板+4mmPb 防护涂料
		观察窗	5mmPb 铅玻璃
SPECT 机房	65.8m ²	四周墙体	24cm 混凝土砌块砖+3mmPb 防护钡砂浆
		地板	25cm 混凝土
		顶棚	18cm 混凝土+1.1m 厚土层
		防护门	4mmPb
		观察窗	5mmPb 铅玻璃
留观病房	26.8m ²	四周墙体	24cm 实心砖
		地板	12cm 混凝土
		顶棚	12cm 混凝土
分装室	——	四周墙体	24cm 混凝土砌块砖+3mmPb 防护钡砂浆
		地板	25cm 混凝土
		顶棚	18cm 混凝土+1.1m 厚土层
		北侧防护门	4mmPb
		西侧防护门	7mmPb
		南侧防护门	4mmPb

注：根据建设单位提供资料，混凝土密度为 2.35g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³。

本项目辐射工作场所为门诊综合大楼负一层核医学科、门诊综合大楼三楼 1#导管室及二号住院楼十层 21014、21015 两间病房，以上场所均为利用原有场所，上述工作场所沿用既有的相关防护设施和个人防护用品，并在此基础上针对该项目特点增配 V 型瓶、有机玻璃注射器防护套等，具体配备情况见表 10-2 及表 10-3。

表 10-2 本项目配置的防护设施一览表

工作场所	防护设备名称	防护厚度	数量	备注
核医学科	手套箱	10mmPb	1	原有
	储源铅罐	20mmPb	2	原有
	运送铅罐	8mmPb	2	原有
	注射器防护盒	2mmPb	2	原有
	放射性废物桶	20mmPb	1	原有
	放射性废物桶	20mmPb	1	新增
	储源保险箱	——	1	原有
	传输防护系统	——	1	新增
	储源瓶铅罐	6.4mmPb	1	(见图 10-5)

	V型瓶防护	15mm 有机玻璃	1	
	注射器防护套	15mm 有机玻璃	1	
介入科 1#导管室	铅悬吊防护屏	0.5mmPb	1	原有
	铅防护吊帘	0.5mmPb	1	原有
	床侧防护帘	0.5mmPb	1	原有
	床侧防护屏	0.5mmPb	1	原有
	移动铅防护屏	2mmPb	1	原有
	放射性废物桶	20mmPb	1	新增



图 10-4 本项目新增的专用防护配件
表 10-3 配置的个人防护用品一览表

对象	名称	数量	铅当量	保存地点	备注
工作人员	铅衣	2 件	0.5	核医学科	原有
	铅眼镜	2 副	0.5		
	铅帽	2 件	0.5		
	铅围脖	2 件	0.5		
	铅手套	2 副	0.25		
	铅方巾	2 件	0.5		
	铅衣	3 件	0.5	介入科	
	铅帽	3 件	0.5		
	铅围脖	3 件	0.5		
	铅护目镜	3 副	0.5		

	铅手套	3副	0.5		
患者	铅方巾	2件	0.5	介入科	新增

10.1.4 辐射安全措施评价

本项目使用场所为介入科和核医学科中的部分区域，两个科室已采取了一系列的辐射安全措施，已有辐射安全措施如下：

(1) 核医学科

① 电离辐射警告标志

在核医学科出入口均已张贴符合规范的电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近。

② 工作状态指示灯

在 SPECT 机房患者入口门上方均已设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，只有机房门关闭的时候才会灯亮。

③ 闭门装置

机房的医护人员小门是平开门，设置有自动闭门装置；患者出入大门是电动推拉门，设置有曝光时关闭机房门的管理措施，并设置有红外感应防夹装置。

④ 监控与对讲装置

在 SPECT 机房设置有观察窗，工作人员通过观察窗可及时观察机房内患者情况；核医学科内设置有监控及对讲装置。

⑤ 人员监护

本项目辐射工作由现有工作人员承担，医院已委托福建省一准医学检测科技发展有限公司对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测，并已定期对本项目工作人员进行了职业健康检查。

⑥ “两区”内安全防护措施规定

工作人员离开核医学科控制区前做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(2) 介入科

① 电离辐射警告标志

DSA 机房各防护门外表面均已张贴符合规范的电离辐射警告标志，提醒无关人员勿靠

近机房或在附近逗留。

②工作状态指示灯

DSA 机房患者通道防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联锁装置，用于显示机房内设备运行状态。

③防夹和闭门装置

DSA 机房平开防护门设置自动闭门装置，电动推拉防护门设置防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施。

④监控与对讲装置

DSA 机房设置有观察窗，同时设置实时监控装置和对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察患者情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。

⑤人员监护

本项目辐射工作由现有工作人员承担，医院已委托福建省一准医学检测科技发展有限公司对本项目辐射工作人员进行个人剂量监测，并已定期对本项目工作人员进行了职业健康检查。

(3) 为了进一步确保本项目安全运行，医院计划增设如下辐射安全措施：

1) “两区”内安全防护措施规定

①工作人员离开 1#导管室前做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

②⁹⁰Y 树脂微球介入治疗过程中采取措施（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 ⁹⁰Y 树脂微球后，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导管从普通导管中移出，经包裹处理后放入铅废物桶内。

2) 应急处置

医院计划在 ⁹⁰Y 树脂微球、^{99m}Tc 药物输注场所（介入科 1#导管室）内配备应急及去污用品，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、去污剂或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 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、胶带、标签、不

透水的塑料布、一次性镊子。

3) 药物管理

本项目药物在核医学科进行分装、活度测量等，再转移至介入科 1#导管室，其中 ^{99m}Tc 药物放置于 8mm 铅罐， ^{90}Y 药物放置于 15mm 有机玻璃 V 型防护瓶（外盖 0.5mmPb 方巾），工作人员将铅罐/V 型防护瓶置于不锈钢小推车中经专用电梯 1 送入介入科。

4) ^{90}Y 树脂微球患者转移管理

由于本项目 ^{90}Y 树脂微球输注场所（介入科 1#导管室）与 ^{90}Y 树脂微球患者专用留观病房距离较远，且患者还需要转移至核医学科使用 SPECT 融合扫描。医院在移动患者的过程中计划采取以下措施进一步减少其辐射影响：

①在患者身体肝脏部位覆盖 0.5mm 铅当量的铅方巾；

②分装好的药物、给药后患者的转移均使用专用电梯，专用电梯设置门禁，仅支持刷卡进入，避免无关人员使用；移动患者时尽量避开人员较为集中的时段并在途径线路采取临时管控措施，快速、平稳地将患者送达；

③ ^{90}Y 树脂微球患者专用留观病房门口设置电离辐射警告标志，警示周围人群远离专用病房；加强留观病房管控，防止病人在留观期间私自离开病房。

5) 工作人员辐射防护措施管理

①给工作人员配备一系列个人防护，如给负责介入手术工作人员配备铅衣、铅帽、铅围脖等；给核医学工作人员配备铅衣、铅围脖、铅护目镜等。

②患者转移时工作人员穿戴个人防护用品，并保持与患者 1m 以上的距离。

③配备个人剂量计和辐射监测仪器，如表面沾污仪、辐射巡测仪等。

6) SPECT 扫描

树脂微球治疗病人与核医学科病人不同时进入 SPECT 扫描室扫描，与 SPECT 场所内其余项目错时开展，树脂微球治疗病人扫描后方开展核医学治疗，避免患者互相之间不必要的交叉照射。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

10.2 三废的治理

10.2.1 放射性废水处理措施

(1) 患者在注入⁹⁰Y树脂微球后，尿液中会有少量的⁹⁰Y核素排出。本项目患者最大注射活度为 $2.5 \times 10^9 \text{Bq}$ ，留观时间最长为24h，留观期间排泄8次，单次排泄量一般为200~400mL，则单名留观患者住院留观期间总排泄量为1600~3200mL。

Oliver.S.Grosser等人通过对进行了⁹⁰Y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，并在2017年发表的《钇-90标记树脂基微球放射栓塞后的尿排泄》中列出的患者尿液中⁹⁰Y核素含量见下表。

表 10-4 注入⁹⁰Y树脂微球后的患者48小时内尿液中⁹⁰Y核素含量

术后时间段	0-24h	24-48h
排尿量 (ml)	1100 范围: 300-2600	1225 范围: 450-3500
尿液中总活度 (kBq)	72.5 范围: 13.2-311.0	22.1 范围: 2.3-103.9

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)8.6.2，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸收ALI值中的较小者，其具体数值可按B1.3.4和B1.3.5条的规定获得)；

b) 每一次排放的活度不超过 1ALI_{min} ，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。每次排放后应做记录并存档。根据表7评价标准章节，本项目放射性核素⁹⁰Y排放导出限值见下表。

表 10-5 放射性核素⁹⁰Y排放导出限值

序号	核素名称	ALI_{min} 一次排放限值 (Bq)	$10\text{ALI}_{\text{min}}$ 月排放限值 (Bq)
1	⁹⁰ Y	7.4×10^6	7.4×10^7

患者在接受⁹⁰Y树脂微球核素治疗后，0~24h每例患者尿液中⁹⁰Y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》(GB18871-2002)中单次放射性废水排放总活度 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ 的相关要求。本项目每月最多20例⁹⁰Y树脂微球治疗手术，则每月排放总活度为 $6.22 \times 10^6 \text{Bq}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中每月排放总活度限值 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ 的相关要求。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，本项目产生的⁹⁰Y废水将直接排放，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗，本项目产生的⁹⁰Y废水不再作为放射性废水处理。

10.2.2 放射性废气处理措施

^{90}Y 树脂微球药品中，绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量（0.04~0.4%） ^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为分装好的针剂，无开放液面，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

10.2.3 放射性固体废物处理措施

①核医学科： ^{90}Y 树脂微球治疗项目分装质控过程中产生的剂量瓶、滤纸、注射器、擦拭废纸、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦拭废纸等；②介入科： ^{90}Y 树脂微球治疗项目输注过程中产生的剂量瓶、一次性使用输注装置、输注导管、纱布、毛巾、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦拭废纸等；以上废物均单独暂存于铅废物桶内，铅废物桶内放有专用塑料袋，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存。

本项目放射性废物库容积约 60.7m^3 （长约 3.3m、宽约 4.6m、高约 4m），废物库内拟设置 3 个 ^{90}Y 专用废物桶（单个废物桶容积为约 0.1m^3 ），用于暂存 ^{90}Y 树脂微球项目产生的放射性固废；本项目放射性固废预计每天产生量为不大于 0.01m^3 ，单个废物桶能存放 10 个工作日产生的放射性废物，放射性固废能在废物库内暂存 30 个工作日，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期 10 倍的要求（ ^{90}Y 半衰期为 2.67 天，10 个半衰期为 26.7 天）。

本项目产生的放射性固废统一存放在核医学科固废间内，根据《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，放射性固体废物贮存 10 个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

厦门弘爱医院新建 ^{90}Y 树脂微球治疗项目依托原有核医学科、介入科及病房开展，不存在建设阶段环境影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 X 射线辐射影响分析

根据医院提供的 1#导管室屏蔽防护参数，本项目 1#导管室屏蔽铅当量最低为 4mmPb，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 C 形臂 X 射线设备机房的相关要求即屏蔽铅当量不少于 2mmPb 的要求。根据医院《厦门弘爱医院新建核技术应用项目（一期）竣工环境保护验收监测报告表》可知，在开机管电压为 120kV，管电流为 72mA 的条件下，本项目 1#导管室外 X- γ 剂量当量率最大值为 0.195 $\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“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 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求。根据医院提供的资料，本项目正常透视状态下运行工况为管电压为 80kV，管电流为 50mA。

11.2.2 放射性药物环境影响分析

本次新建 ^{90}Y 树脂微球治疗项目涉及的 ^{90}Y 放射性核素为 β -衰变，衰变时仅产生 β 射线， β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑 β 射线和韧致辐射，因此需要考虑在 ^{90}Y 药物分装、药物转运、药物注射、患者转运、患者扫描过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素衰变方式为同质异能跃迁，伴随发射 0.14MeV 的 γ 射线，因此需要考虑在 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物转运、药物注射、患者转运过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。

(1) β 射线辐射环境影响分析

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册》， β 射线在不同物质中射程为：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\rho \max} \quad (1)$$

上式中： $E_{\rho \max}$ — β 射线的能量，MeV；

ρ ——物质的密度， g/cm^3 ；

d ——射程，cm；

计算结果详见下表。

表 11-1 ⁹⁰Y 核素放射的β粒子在不同物质中的射程

核素	β射线的最大能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 (g/cm ³)	射程 (cm)
⁹⁰ Y	2.284	空气	1.29×10 ⁻³	885
		实心砖	1.65	0.692
		混凝土	2.35	0.486
		铅玻璃	4.68	0.244
		有机玻璃	1.18	0.968
		组织或水	1.00	1.142

由上表可知，β粒子易于屏蔽，1cm的有机玻璃就可以完全阻挡。本项目职业工作人员不会直接接触放射性核素，在操作时会佩戴医用手套与使用专用防护用具，因此β射线对本项目放射工作人员的影响可以忽略。

(2) β射线所致韧致辐射影响分析

β射线与物质相互作用会产生韧致辐射，在进行韧致辐射环境影响预测时，将⁹⁰Y树脂微球及已输注⁹⁰Y树脂微球的患者简化成点源，其周围空气比释动能率可近似按照点源模式计算。

①采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算β射线产生的韧致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率：

$$H=4.58 \times 10^{-14} A Z_e (E_b/r)^2 (\mu_{en}/\rho) \eta \quad (2)$$

式中：

H——屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在r(m)处剂量当量率，Sv/h；

E_b ——韧致辐射平均能量，MeV，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表B.1取0.934MeV；

μ_{en}/ρ ——是平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m²·kg⁻¹，由《辐射防护导论》附表1查得，空气质量能量吸收系数为2.787×10⁻³m²·kg⁻¹；

A——放射源活度，Bq；

Z_e ——屏蔽材料的有效原子序数，由《辐射防护导论》表4.4查得，其中水的有效原子序数为6.66，有机玻璃的有效原子序数为5.85。

r——放射源到考察点的距离，m。

η ——透射比， $\eta=1/\text{屏蔽减弱倍数 } K$ ，无量纲。根据《辐射防护导论》附表9及附表11，本项目由插值法求得不同屏蔽材料下的减弱倍数（保守取1MeV条件下的减弱倍数），具体见下表。对于实心砖，由于《辐射防护导论》未给出相应的减弱倍数，保守采用密度转换为混凝土厚度进行查取。

根据⁹⁰Y树脂微球治疗工艺流程可知，每剂⁹⁰Y树脂微球使用西林瓶封装，并置于铅罐中（6.4mmPb）进行运输，运至医院核医学科后，由核医学放射工作人员在手套箱内（10mmPb）进行拆封、活度测定、分装，分装好的药物置于专用转运装置内运送至1#导管室进行介入注射，⁹⁰Y分装（注射器防护套，15mm有机玻璃）、转运（V型瓶防护+铅方巾，15mm有机玻璃+0.5mmPb）、注射（注射器防护套，15mm有机玻璃），全过程均采用有机玻璃及铅对其β射线进行屏蔽。

表 11-2 ⁹⁰Y 韧致辐射计算参数及结果一览表

参考点		A (Bq)	Z _e [®]	E _b	μ_{en}/ρ (m ² /kg)	r (m)	屏蔽材料	透射比	H (μ Sv/h)
分装室	东侧墙体外 30cm	3.0×10 ⁹	5.85	0.934	2.787×10 ⁻³	3.64	24cm 混凝土砌块砖+3mmPb 防护钡砂浆+10mmPb 手套箱	0.088	0.026
	南侧墙体外 30cm					1.09			0.290
	西侧墙体外 30cm					3.14			0.035
	北侧墙体外 30cm					5.34			0.012
	楼下 ^①					3.55	25cm 混凝土+10mmPb 手套箱	0.093	0.029
	楼上 30cm					4.58	18cm 混凝土+10mmPb 手套箱	0.162	0.030
	分装柜非正对人员操作位表面					0.55	10mmPb	0.580	3.747
	手套箱表面 30cm					0.80	10mmPb	0.580	1.771
⁹⁰ Y 树脂微球转运		2.5×10 ⁹	5.85	0.934	2.787×10 ⁻³	1.00	0.5mm 铅方巾	1	1.629
1#导管室	东侧墙体外 30cm	2.5×10 ⁹	5.85	0.934	2.787×10 ⁻³	5.04	24cm 实心砖+3mmPb 防护涂料	0.310	0.020
	南侧墙体外 30cm					2.44			0.085
	西侧墙体外 30cm					3.30			0.046
	北侧墙体外 30cm					2.54			0.078
	楼下					3.42	12cm 混凝土+3mmPb 防护涂料	0.520	0.072
	楼上 30cm					3.42			0.072
	患者入口门外 30cm					3.30	4mmPb	0.910	0.136
	医生入口门外 30cm					2.44	4mmPb		0.249
	观察窗外 30cm					2.44	5mmPb	0.830	0.227
	注射医生操作位					0.50	0.5mmPb 铅衣+2mmPb 防护屏	1	6.514
留观病房	东侧墙体外 30cm	2.5×10 ⁹	6.66	0.934	2.787×10 ⁻³	1.34	24cm 实心砖	0.310	0.320
	南侧墙体外 30cm					4.74			0.026

	西侧墙体外 30cm					2.34			0.105		
	北侧墙体外 30cm					4.24			0.032		
	楼下					3.42			12cm 混凝土	0.520	0.082
	楼上 30cm					3.42					0.082
	普通门外 30cm					4.24			—	1	0.103
SPECT 机房	东侧墙体外 30cm	2.5×10 ⁹	6.66	0.934	2.787×10 ⁻³	4.14	24cm 混凝土砌块砖+3mmPb 防护钡砂浆	0.180	0.019		
	南侧墙体外 30cm					1.74			0.110		
	西侧墙体外 30cm					4.74			0.015		
	北侧墙体外 30cm					4.44			0.017		
	楼下					3.55	25cm 混凝土	0.160	0.024		
	楼上 30cm					4.58	18cm 混凝土	0.280	0.025		
	防护门外 30cm					4.14	4mmPb	0.910	0.098		
	观察窗外 30cm					1.74	5mmPb 铅玻璃	0.830	0.508		
⁹⁰ Y 患者转运		2.5×10 ⁹	6.66	0.934	2.787×10 ⁻³	1.00	0.5mmPb 方巾	1	1.854		

注：①楼下参考点为距楼下地面 1.7m 处；②药物注射如人体后，考虑到人体软组织的有效原子序数、原子量与水很相近，因此屏蔽材料的有效原子序数 Z_e 采用水的有效原子序数。

(3) ^{99m}Tc 辐射防护评价

本项目 ^{99m}Tc 放射性核素单人次使用量为 1~5mCi，^{99m}Tc-MAA 的注射在 1# 导管室内进行，在核医学科工作场所进行 SPECT 扫描。由于本项目单人用量低于 SPECT 患者注射 ^{99m}Tc 的活度，根据《厦门弘爱医院新建核技术应用项目（一期）竣工环境保护验收监测报告表》监测结果，SPECT 机房（内有注射了 20mCi 的 ^{99m}Tc 病人在扫描）周围剂量当量率小于 0.157μSv/h，满足本项目剂量率控制要求。因此主要估算 1#导管室内开展 ^{99m}Tc-MAA 注射工作以及 ^{99m}Tc 药物转运时的辐射影响。

采取下述公式计算其辐射影响：

$$H_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{\frac{-x}{TVL}} \quad (3)$$

上式中：

H_p —屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

x —屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

A —放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 μSv·m²/MBq·h，^{99m}Tc 取值 0.0303；

r —参考点与放射源间的距离，单位为米（m）；

TVL —γ射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm）；根据 GBZ120-2020 得到 ^{99m}Tc：TVL_铅=1mm，TVL_{混凝土}=110mm，TVL_砖=160mm。

表 11-3 ^{99m}Tc 工作场所屏蔽体外关注点辐射剂量率计算结果

参考点		A (MBq)	x	r (m)	H _p (μSv/h)
1# 导管室	东侧墙体外 30cm	单人最多 185	24cm 实心砖 +3mmPb 防护涂料	5.04	6.98×10 ⁻⁶
	南侧墙体外 30cm			2.44	2.98×10 ⁻⁵
	西侧墙体外 30cm			3.30	1.63×10 ⁻⁵
	北侧墙体外 30cm			2.54	2.75×10 ⁻⁵
	楼下 ^①		12cm 混凝土 +3mmPb 防护涂料	3.42	3.89×10 ⁻⁵
	楼上 30cm		3.42	3.89×10 ⁻⁵	
	患者入口门外 30cm		4mmPb 铅板	3.30	5.15×10 ⁻⁵
	医生入口门外 30cm		2.44	9.42×10 ⁻⁵	
	观察窗外 30cm		5mmPb 铅玻璃	2.44	9.42×10 ⁻⁶
	注射医生操作位		0.5mmPb 铅衣 +2mmPb 防护屏	0.50	0.071

^{99m} Tc 药物转运	单次最大 185	8mmPb 铅罐	1	5.61×10 ⁻⁸
^{99m} Tc 患者转运		0.5mmPb 方巾	1	1.773

注：①楼下参考点为距楼下地面 1.7m 处。

(4) β 放射性表面污染影响分析

β放射性表面污染的影响主要来自于辐射工作人员误操作时，放射性物质溢出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响。因此为了使本项目 β 放射性表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，医院应做到以下防护措施：

①配备表面污染监测仪器，每天工作结束完成后，对 1#导管室手术床面、墙壁和地面，放射性废物桶和包装袋表面，核医学科手套箱表面、分装室墙面和地面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等进行表面污染检查、清洗、去污等。

②辐射工作人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识。

③放射性核素操作应在负压的通风橱或手套箱内操作。

④操作放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并辅以吸水性的材料。

⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物操作。

⑥做好就诊患者的管理，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

⑦如β放射性表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展⁹⁰Y 树脂微球治疗的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用α-β表面沾污仪测量污染区，如果β表面污染大于 40Bq/cm²，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区β表面污染小于 40Bq/cm²为止。同时辐射工作人员的手、皮肤、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作，评估其受照剂量，并根据评估结果采取下一步措施，如调整工作或接受治疗等。

11.2.3 X 射线与放射性药物的叠加影响分析

本项目药物输注过程需借助 DSA 出束照射，故介入科 1#导管室内需考虑药物输注及 DSA 开机照射的叠加影响。根据《厦门弘爱医院新建核技术应用项目（一期）竣工环境保护验收监测报告表》，本项目 1#导管室外 X- γ 剂量当量率最大值为 0.195 μ Sv/h。

(1) ^{90}Y 药物输注时 1#导管室外辐射剂量率

在 ^{90}Y 树脂微球治疗工作开展过程中分装柜非正对人员操作位表面剂量当量率为 3.747 μ Sv/h，30cm 处剂量当量率为 1.771 μ Sv/h；**满足辐射环境剂量率控制水平要求：**诊断工作场所分装注射室内分装柜外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h，分装柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25 μ Sv/h。

在穿戴铅衣及有防护屏情况下负责分装及输注 ^{90}Y 树脂微球的医护人员有一定的外照射影响，手术室进行输注时剂量率为 6.514 μ Sv/h。

分装室外表面 30cm 处剂量当量率最大为 0.290 μ Sv/h；1#导管室外表面 30cm 处剂量当量率最大为 0.444 μ Sv/h；留观病房外表面 30cm 处剂量当量率最大为 0.320 μ Sv/h；SPECT 机房外表面 30cm 处剂量当量率最大为 0.508 μ Sv/h。**满足辐射环境剂量率控制水平要求：**距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗、墙壁外表面 30cm 及周围人员可居留处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。

(2) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物输注时 1#导管室外辐射剂量率

在穿戴铅衣及有防护屏情况下负责输注 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的医护人员进行输注时剂量率为 0.071 μ Sv/h。

在 1#导管室进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物注射开展过程中 1#导管室外表面 30cm 处剂量当量率为 0.195 μ Sv/h，**满足辐射环境剂量率控制水平要求：**距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗、墙壁外表面 30cm 及周围人员可居留处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h。

11.2.4 辐射工作人员和公众年有效剂量评价

工作人员及公众年有效剂量可通过下式进行估算：

$$E = \dot{H} \cdot U \cdot T \cdot t \quad \dots\dots\dots (4)$$

上式中：E—人员年有效剂量， μ Sv/a；

H —参考点处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

U —使用因子;

T —人员在相应关注点驻留的居留因子;

t —照射时间, 单位为 h/a 。

本项目每天最多治疗 2 例病人, 年最多治疗 200 例病人, 核医学科辐射工作人员进行 ^{90}Y 树脂微球准备及转移至 V 瓶约 10min, 则在核医学科 ^{90}Y 树脂微球分装等相关操作总时间约为 33.33h; ^{90}Y 树脂微球或 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物由核医学转运至手术室约 3min, 则单个药物年转运时间约为 10h; ^{90}Y 树脂微球或 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物输注时单个患者最多为 6min, 则年输注时间最多为 20h; ^{90}Y 带药病人由手术室转运至留观病房约 5min, 则年转运时间约为 16.67h; ^{90}Y 带药病人由留观病房转运至核医学科约 8min, 则年转运时间约为 26.67h; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 带药病人由手术室转运至核医学科约 3min, 则年转运时间约为 10h; ^{90}Y 带药病人在 SPECT 机房单人扫描时间约 20min, 年扫描时间约为 66.67h。

综上所述, 本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下, 辐射工作人员的年有效剂量最大为 3.908mSv, 公众年有效剂量最大为 0.077mSv, 辐射工作人员和公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和本项目管理目标(年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv) 的剂量限值要求。

11.2.5 患者离开医院对环境的影响

根据《核医学辐射防护与安全》(HJ1188-2021) 中“表 B.1 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求”可知, ^{90}Y 患者体内放射性活度满足以下限值方可出院。

表 11-4 患者出院时体内放射性活度的要求

放射性核素	患者出院时体内放射性活度要求 (MBq)	患者注射活度 (MBq)	是否符合
^{90}Y	≤ 2500	最大输注活度 2500	符合

由上表可知, 医院患者最大输注活度为 2500MBq, 能够满足《核医学辐射防护与安全》(HJ1188-2021) 中患者出院时体内放射性活度的要求。因此, 本项目患者留观 12~24 小时, SPECT 扫描后即可出院。

11.2.6 放射性“三废”影响分析

11.2.6.1 放射性废水影响分析

患者在注入⁹⁰Y树脂微球后，尿液中会有少量的⁹⁰Y核素排出。根据《钇-90标记树脂基微球放射栓塞后的尿排泄》，患者在接受⁹⁰Y树脂微球核素治疗后，0~24h每例患者尿液中⁹⁰Y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》(GB18871-2002)中单次放射性废水排放总活度 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ 的相关要求。本项目每月最多20例⁹⁰Y树脂微球治疗手术，则每月排放总活度为 $6.22 \times 10^6 \text{Bq}$ ，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中每月排放总活度限值 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ 的相关要求。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，本项目产生的⁹⁰Y废水将直接排放，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗，本项目产生的⁹⁰Y废水不再作为放射性废水处理。

11.2.6.2 放射性固废影响分析

①核医学科：⁹⁰Y树脂微球治疗项目分装质控过程中产生的剂量瓶、滤纸、注射器、擦拭废纸、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦拭废纸等；②介入科：⁹⁰Y树脂微球治疗项目输注过程中产生的剂量瓶、一次性使用输注装置、输注导管、纱布、毛巾、手套等放射性固体废物及事故工况下，液体放射性核素泼洒时产生的擦拭废纸等；以上废物均单独暂存于铅废物桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，每日工作结束后分别收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）送放射性废物库内暂存。

本项目放射性废物库容积约 60.7m^3 （长约3.3m、宽约4.6m、高约4m），废物库内拟设置3个⁹⁰Y专用废物桶（单个废物桶容积为约 0.1m^3 ），用于暂存⁹⁰Y树脂微球项目产生的放射性固废；本项目放射性固废预计每天产生量为不大于 0.01m^3 ，单个废物桶能存放10个工作日产生的放射性废物，放射性固废能在废物库内暂存30个工作日，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期10倍的要求（⁹⁰Y半衰期为2.67天，10个半衰期为26.7天）。

本项目放射性废物存放于20mm铅当量废物桶中，经过屏蔽能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“固体放射性废物收集桶外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。

本项目产生的放射性固废统一存放在核医学科固废间内，根据《核医学科

辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的要求,核医学科固废间内的放射性固体废物贮存 10 个半衰期后,经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$,可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

11.2.6.3 放射性废气影响分析

^{90}Y 树脂微球药品中,绝大多数 ^{90}Y 核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内,以不溶性固体形式存在,极少量(0.04~0.4%) ^{90}Y 核素以游离状态出现在液体中,游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇($^{90}\text{YCl}_3$)形式存在,氯化钇不具备挥发性,故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为分装好的针剂,无开放液面,故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

11.2.6.4 非放射性“三废”影响分析

①废气: DSA 机房内的空气在 X 射线作用下,分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体,通过动力排风装置排入大气,臭氧半衰期 50 分钟,常温下可自行分解为氧气,对周围环境影响较小。

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

③固体废物:项目运行期产生的固体废物主要为医疗废物和生活垃圾,院内医疗废物将委托有资质单位进行清运处理,生活垃圾由当地环卫部门统一清运,对环境的影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 潜在事故分析

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所,在放射性同位素的使用过程中,如果不被安全管理或可靠保护,可能对接触非密封源的人员造成超剂量照射。主要事故风险为:

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

(2) 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;

(3) 放射性药物被盗、丢失等;

(4) 用药后病人未经允许脱离控制区,尤其是在用药初期离开病房,可能

对接近患者的人员造成额外照射；

(5) 治疗期间其他无关人员误入核医学科及介入科控制区内受到误照射；

(6) DSA 设备控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到的计划外照射。

11.3.2 风险防范措施

(1) 建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，在实际工作过程中严格执行。

(2) 加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识。

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

(4) 定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

11.3.3 风险评价

厦门弘爱医院应不断加强辐射安全管理，严格执行安全操作规程等规章制度，同时还需按照相关标准及本环评报告相关要求，设置安装必要的辐射安全措施。医院在严格落实上述风险防范措施的前提下，其环境风险水平是可接受的。

11.3.4 辐射事故报告

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发<2006>145号）及其他法规规定，当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，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，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。

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》，使用乙级非密封放射性物质工作场所的单位，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；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。

厦门弘爱医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理小组负责辐射安全与环境保护管理工作，指定专人（赖友群）负责辐射安全与环境保护管理工作，并以正式文件形式任命。

管理小组职责如下：

①负责拟定辐射防护工作计划和实施方案，制定相关工作制度，并组织实施。

②做好工作人员的辐射防护与安全培训、防护设施的供应与管理以及辐射防护档案的建立与管理工作。

③组织实施本院放射工作人员上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康检查，建立个人健康监护档案，做到一人一档。

④定期对辐射与防护工作进行督查，检查本院放射工作人员的技术操作情况，指导做好个人以及患者的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

12.2 辐射安全与防护培训及职业健康体检

核医学科与 1#导管室有 4 人已参加辐射安全与防护培训，考核合格并取得辐射安全与防护培训合格证书，另有 9 人培训证书已过期，应在本项目投入运行前，尽快安排人员培训，通过考核后方可上岗。

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》的要求，自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加相关类别考核，考核合格者可取得电离辐射安全与防护考核成绩报告单，成绩全国有效，有效期 5 年。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

12.3 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用

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、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

根据《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）的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关（全国核技术利用辐射安全申报系统 <http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）提交上一年度的评估报告。

厦门弘爱医院已针对现有核技术利用及本次新建项目制定一系列辐射安全管理规章制度，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

1) 操作规程：核医学科及介入科已对各项检查项目制定了详细的操作规程并严格执行。

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

3) 辐射防护和安全保卫制度：制度已明确使用放射性核素、射线装置等应取得辐射安全许可证，医院辐射安全与防护管理领导小组对全院放射性核素、射线装置等的安全和防护工作实施统一监督管理，同时明确了辐射安全与环境保护管理小组的职责。已制定的辐射防护和安全保卫制度同时适用于本项目。

4) 放射性同位素、射线装置使用登记制度：医院已建立核医学所有在用核素、医院射线装置的使用登记台账，从购入到使用均有据可查，并有专人管理，确保正确无误，帐物相符。

5) 设备维修制度：医院已建立的设备维修制度，主要是针对显像检查设备、铅通风橱、活度测量设备、检测设备的维护维修，目前执行情况良好。

6) 人员培训计划：医院已建立人员培训计划制度，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。取得核技术利用辐射安全与防护考核合格成绩单的人员，应当每五年重新培训考核。

7) 监测方案：方案中已明确了医院辐射工作场所及周围环境的监测项目和监测频

次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门，明确了每年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了年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交了上一年的评估报告。已制定的辐射环境监测方案同时适用于本项目。

8) 事故应急制度：医院已制定辐射事故应急预案，并成立院领导带头的辐射事故应急领导小组。发生辐射事故时，应当立即启动辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在事故发生后2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。

12.4 辐射监测

12.4.1 监测设备

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条例》的要求，使用非密封放射性物质的单位应“配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测设备。”，“对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。”

医院现有1台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所定期自行检测；医院为本项目核医学科及介入科各配备了2台个人剂量报警仪，用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警；本项目1台表面沾污测量仪仅能满足核医学科工作场所的表面污染检测，还应为1#导管室配备1台表面污染测量仪，用于1#导管室工作场所及注射后医务人员离开时进行手、足、物品的表面污染监测，避免将放射性核素污染带出（超标即去污）；还应为病房配备1台表面污染测量仪，用于留观病房工作场所及医务人员进行手、足、物品的表面污染监测，避免将放射性核素污染带出（超标即去污）。

本项目辐射工作人员均已开展个人剂量检测，后期若有新进人员也需配备个人剂量计，定期（不少于1次/季度）送有资质部门进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

12.4.2 监测方案

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关标准和规范的要求，医院制定了相应的辐射监测计划，包括：

1) 辐射工作场所的自行监测：医院将1台环境辐射巡测仪用于辐射工作区域周围环境的巡测；将3台表面沾污仪分别用于各非密封放射性物质操作台面、地面及放射性三废涉

及区域的表面污染巡测。核医学科、1#导管室及留观病房辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 12-2。

表 12-2 核医学科、1#导管室及留观病房辐射监测关注点

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位、存有放射性物质的装置/设备的表面及废物桶表面。	不少于 1 次/月
表面放射性污染	核医学科放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面；1#导管室手术床面、墙壁和地面；留观病房患者床表面、墙壁和地面；放射性废物桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

2) 放射性固废解控及送贮监测

放射性固废库内的放射性固废，暂存十个半衰期（且不低于 30 天）后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，方可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

3) 环境辐射年度检测及年度评估： 请有资质的监测机构定期对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的 1 月 31 日之前，需上传全国核技术利用辐射安全申报系统（<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）备案。环境辐射水平监测点位应不少于表 12-3 的要求，并建议覆盖同层相邻、楼上楼下的相关公众所在场所。

4) 个人剂量检测： 本项目所有辐射工作人员从事辐射工作时均应佩戴个人剂量计，定期（不少于 1 次/季度）送有资质部门进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案。

5) 职业健康监护： 本项目所有辐射工作人员上岗前均应进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，应定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），确认可继续从事辐射工作，并建立个人职业健康档案。

6) 竣工环保验收： 辐射工作场所竣工后 3 个月内，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。可参考《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》及《建设项目竣工环境保护验收技术指南-污染影响类》。

7) 关键参数改变监测： 辐射防护设备（如铅手套箱、铅废物桶、铅防护门窗）更换或大修后，均应使用环境辐射巡测仪及表面沾污仪对辐射工作场所和周围环境进行全面辐射检测和辐射安全评价，确认辐射水平无异常方能继续开展工作。

厦门弘爱医院现有核技术利用项目每年均开展自主检测和年度检测工作，并于每年 1

月 31 日前网上提交备案上一年度的评估报告。其上一年度 2021 年辐射年度监测报告中未见辐射异常，与辐射年度评估报告已一并上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”备案。现有辐射工作人员均已配备个人剂量计，定期送有资质部门进行个人剂量监测，定期组织辐射工作人员进行健康体检，并已按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。上一年度个人剂量监测报告未见职业人员受照剂量超过年有效剂量限值。

12.5 辐射事故应急

厦门弘爱医院已对现有核技术应用项目制定了辐射事故应急预案。辐射事故应急预案内容主要有：

- (1) 单位辐射项目基本情况；
- (2) 应急管理机构以及职责分工；
- (3) 辐射事故分级与类型；
- (4) 辐射事故应急处理措施；
- (5) 辐射事故的报告；
- (6) 应急终止程序与后续整改；
- (7) 应急预案的管理；
- (8) 应急工作流程图及相关人员/部门联系电话；
- (9) 辐射事故初始报告表格式。

根据《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》，厦门弘爱医院目前正在重新修订辐射事故应急预案。

厦门弘爱医院自申领辐射安全许可证起至今，未发生辐射事故。

厦门弘爱医院应加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结。医院每年均开展辐射事故应急演练，2021 年 1 月 14 日在核医学科开展了“放射性药物污染应急处理应急演练”。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 2 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，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报告

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为了更好地为患者服务，厦门弘爱医院拟在门诊综合大楼三楼介入科 1#导管室内开展 ^{90}Y 树脂微球治疗项目，借助介入科 1#导管室内的 UNIQ Clarity FD20 型 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 树脂微球通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，达到肝癌治疗的目的；并把二号住院楼 10 层两间病房设置为 ^{90}Y 树脂微球患者专用留观病房； ^{90}Y 的贮存、质控、分装与扫描依托于门诊综合大楼负一楼核医学科工作场所。

(一) 核医学科

本项目使用的放射性核素包括 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y ，医院现已许可的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 量已能够满足核医学科 SPECT 诊断项目和本项目的量，因此 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 量维持不变；本项目投入运行后其日等效最大操作量为 $6.0 \times 10^7 \text{Bq}$ ，累加核医学科现有许可量后其日等效最大操作量为 $3.83 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍属于 GB18871 中乙级非密封放射性物质工作场所范围 ($2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$)。

(二) 1#导管室

1#导管室拟使用 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素，核素经工作人员从核医学科运送到本项目 1#导管室。其中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效最大操作量 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ， ^{90}Y 日等效最大操作量 $5 \times 10^7 \text{Bq}$ 。本项目 1#导管室内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 不在同一天操作（一般间隔 1~2 周），根据医院提供的资料，亦不存在 1#导管室内 2 位患者同一天操作 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{90}Y 的情况日等效最大操作量不叠加。因此，本项目 1#导管室内日等效最大操作量 $5 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

13.1.2 辐射安全与防护评价

(1) 工作场所选址、布局与分区评价：

厦门弘爱医院建设于厦门市湖里区仙岳路 3777 号，本项目核医学科位于门诊综合大楼负一层，1#导管室位于门诊综合大楼三层，留观病房位于二号住院楼十层。门诊综合大楼的东侧依次为院内道路、绿化、医院东围墙，围墙外为金山路；南侧依次为规划支路、公共绿地、仙岳路；西侧依次为院内道路和康复中心楼；北侧依次为院内绿化、道路、医院北围墙，围墙外为金山西路。本项目 50m 范围内无学校或居民区等环境敏感点，均在医院院内或属公共道路。本项目 DSA 设有单独固定的机房，与周围非辐射

工作场所隔开；核医学工作场所不与产科、儿科、食堂等部门及人员密集区毗邻。根据理论估算，项目运行时对周围环境辐射影响较小，因此，项目选址基本合理。

本项目辐射工作场所按控制区、监督区进行划区管理。

本项目将患者专用留观病房作为辐射防护控制区，严格控制人员进出；将留观病房北侧屏蔽体外 30cm 作为辐射防护监督区。本项目 ^{90}Y 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的贮存、质控、分装与扫描依托于门诊综合大楼负一层核医学科工作场所，本项目药物注射依托门诊综合大楼三层介入科 1#导管室，以上场所已按照要求划分了控制区和监督区，本项目不改变其分区。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定要求。

本项目涉及的辐射工作场所位于门诊综合大楼负一层核医学科、三层介入科及二号住院楼十层病房，相关用房均为利用原有场所，本项目不对工作场所布局及屏蔽防护工程进行调整，根据《厦门弘爱医院（厦门仁爱医疗基金会筹）新建核技术应用项目环境影响报告表》，本项目布局合理。

（2）辐射安全措施评价：

核医学科在出入口均已张贴符合规范的电离辐射警告标志；在 SPECT 机房患者入口门上方已设置有工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置；SPECT 机房的医护人员小门是平开门，设置有自动闭门装置；患者出入大门是电动推拉门，设置有曝光时关闭机房门的管理措施，并设置有红外感应防夹装置；在 SPECT 机房设置有观察窗，工作人员通过观察窗可及时观察机房内患者情况；核医学科内设置有监控及对讲装置；工作人员离开核医学科控制区前做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

DSA 机房各防护门外表面均已张贴符合规范的电离辐射警告标志；DSA 机房患者通道防护门上方设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与患者通道防护门设置联锁装置；DSA 机房平开防护门设置自动闭门装置，电动推拉防护门设置防夹装置并设置曝光时关闭的管理措施；DSA 机房设置有观察窗，同时设置实时监控装置和对讲装置。

为了进一步确保本项目安全运行，医院计划采取如下辐射安全措施：

- 1) 制定“两区”内安全防护措施规定。
- 2) 医院计划在 ^{90}Y 树脂微球/ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物输注场所（介入科 1#导管室）内配备应急及

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、去污剂或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 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、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

3) 本项目药物在核医学科进行分装、活度测量等，再转移至介入科 1#导管室，其中 ^{99m}Tc 药物放置于 8mm 铅罐， ^{90}Y 药物放置于 15mm 有机玻璃 V 型防护瓶（外盖 0.5mm 铅方巾），工作人员将铅罐/V 型防护瓶置于不锈钢小推车中经专用电梯 1 送入介入科。

4) 制定 ^{90}Y 树脂微球患者转移管理措施。

5) 针对辐射工作人员采取相应的辐射防护措施管理。

6) 树脂微球治疗病人与核医学科病人不同时进入 SPECT 扫描室扫描，与 SPECT 场所内其余项目错时开展，树脂微球治疗病人扫描后方开展核医学治疗，避免患者互相之间不必要的交叉照射。

(3) 保护目标剂量估算：

根据理论预测可知，本项目工作场所屏蔽设计、采取的辐射安全措施等能够满足辐射防护要求。在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员的年有效剂量和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）的剂量限值要求。

(4) 辐射安全管理评价：

厦门弘爱医院已成立辐射工作安全领导小组负责辐射安全与环境保护工作，并以正式文件形式任命，现有辐射工作人员已有 4 人参加辐射安全与防护专业知识及相关法律法规的培训/考试，并考核合格，另有 9 人培训证书已过期，应在本项目投运前，尽快组织人员培训。厦门弘爱医院已针对现有核技术利用及本次新建项目制定一系列辐射安全管理规章制度，厦门弘爱医院辐射事故应急预案目前正在修订中，修订完成后，该单位制定的辐射安全管理规章制度较完备且具有一定的可行性，满足现有核技术利用项目和本项目对辐射安全管理规章制度的需求。该单位能够按照辐射安全管理规章制度进行管理，辐射工作人员也能够严格按照各项规章制度开展工作，满足环保相关管理要求。

医院现有 1 台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所定期自行检测；医院为本项目核

医学科及介入科各配备了2台个人剂量报警仪，用于辐射工作过程中瞬时辐射剂量的报警；本项目1台表面沾污测量仪仅能满足核医学科工作场所的表面污染检测，还应为1#导管室配备1台表面污染测量仪，用于1#导管室工作场所及注射后医务人员离开时进行手、足、物品的表面污染监测，避免将放射性核素污染带出（超标即去污）；还应为病房配备1台表面污染测量仪，用于留观病房工作场所及医务人员进行手、足、物品的表面污染监测，避免将放射性核素污染带出（超标即去污）。

13.1.3 环境影响分析

(1) 建设期环境影响评价：

厦门弘爱医院新建⁹⁰Y树脂微球治疗项目依托原有核医学科、介入科及病房开展，不存在建设阶段环境影响。

(2) 运行期辐射环境影响评价：

本项目核医学科和1#导管室通过含铅防护门窗、混凝土墙体/实心砖墙+防护涂料复合屏蔽墙体，混凝土地板、顶板对射线进行防护，留观病房通过实心砖墙体和混凝土顶板及地板进行防护。根据理论预测，在最大工况下，控制区外边界屏蔽墙、屋顶和地板、防护门窗外表面的辐射剂量率均能够满足本项目辐射剂量率控制水平要求。辐射工作人员及周围公众的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）的剂量限值要求。

(3) 放射性“三废”处置评价：

放射性废水：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，本项目产生的⁹⁰Y废水将直接排放，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗，本项目产生的⁹⁰Y废水不再作为放射性废水处理。

放射性废气：⁹⁰Y树脂微球药品中，绝大多数⁹⁰Y核素附着在“大孔型结构”的树脂微球表面和内部孔道内，以不溶性固体形式存在，极少量（0.04~0.4%）⁹⁰Y核素以游离状态出现在液体中，游离的⁹⁰Y核素以氯化钇（⁹⁰YCl₃）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。本项目使用的^{99m}Tc为分装好的针剂，无开放液面，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

放射性固废：本项目产生的放射性固废统一存放在核医学科固废间内，根据《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，贮存10个半衰期后，经监测辐射

剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

医院放射性三废处理措施完善，满足 HJ1188-2021 对非密封工作场所放射性废物的管理要求。

13.1.4 项目建设可行性评价

经对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 修改版），核医学科使用非密封放射性物质、射线装置开展医疗诊断及治疗属于国家鼓励类的“三十七、卫生健康”中医疗卫生服务设施建设项目，符合国家产业政策。

从代价利益方面分析，本项目获得的利益远大于对环境的影响，具有明显的经济效率、社会效益，该项目的建设利益大于其所付出的代价，因此符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

13.1.5 总结论

厦门弘爱医院 ^{90}Y 树脂微球治疗项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

1.建设项目竣工后，医院应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

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

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

2.本项目系使用放射性核素的非密封辐射工作场所，当项目不再开展时，需完成非密封放射性物质工作场所的退役环评及退役手续，确保场地达到清洁解控水平，放射性三废得到妥善处理，方可场址开放，另作他用。

3.建议厦门弘爱医院在控制区出入口处，设置醒目的中文提示语句，如“高辐射区，危险，请勿逗留”，避免公众在其附近逗留。

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