

核技术利用建设项目

厦门大学附属中山医院

钇-90 微球治疗项目生态环境影响报告表

(公开版)



厦门大学附属中山医院

二〇二六年八月

表 1 项目基本情况

项目名称		厦门大学附属中山医院钇-90 微球治疗项目			
建设单位		厦门大学附属中山医院			
法人代表	尹*宇	联系人	郑*和	联系电话	0592-****222
注册地址		福建省厦门市湖滨南路 201-209 号			
项目建设地点		福建省厦门市湖滨南路 201-209 号医院 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室、1 号楼 4 层核医学科、7 号楼 16 层东南侧 Y-90 患者专用病房			
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 ☐ 其他			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	/			

1.1 建设单位情况

厦门大学附属中山医院本部位于厦门市湖滨南路 201-209 号，始建于 1928 年，由爱国华侨和地方知名人士为弘扬中山先生“天下为公，造福社会”的精神捐资兴建而成，2005 年成为厦门大学首家附属医院，现已发展成为集医疗、教学、科研、预防保健于一体的三级甲等综合性医院。医院目前拥有 3 个院区（院本部、金榜分部、厦禾分部），本部占地面积约 59000 平方米；金榜分部占地面积约 2600 平方米；厦禾分部占地面积约 1550 平方米。医院现有编制床位 2500 张，拥有教职员工近 3300 人，其中副高以上专家 1036 名、硕士及博士 956 名、硕士生导师和博士生导师 142 名，享受国务院政府特殊津贴专家 11 名。医院承担厦门大学医学院、厦门大学马来西亚分校、福建医科大学、厦门医学院等多所医学院校教学工作，也是厦门大学、福建医科大学博士硕士研究生培养单位，承担北京中医药大学、福建中医药大学硕博培养任务。

1.2 建设内容与项目由来

1.2.1 建设内容

为适应卫生事业和医疗技术的发展，满足肿瘤患者治疗需求，医院拟于厦门市湖滨南路201-209号开展钇（Y）-90微球治疗项目，主要用于肝脏恶性肿瘤治疗。Y-90微球治疗项目主要流程为先使用DSA机在介入条件下给患者输注Tc-99m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Y-90微球治疗；1-2周后对患者开展Y-90介入输注，借助DSA机血管造影技术将Y-90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4层核医学科

本项目Y-90微球治疗依托医院1号楼（外科病房大楼）4层核医学科进行Y-90核素和Tc-99m核素的分装、抽取、活度测量、贮存、注药后患者SPECT/CT显像扫描以及放射性固体废物暂存等活动。1号楼4层核医学科ECT一室使用的Discovery NM/CT 670型SPECT/CT机最大管电压为140kV，最大管电流为440mA，为III类射线装置。

医院1号楼4层核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，已履行了生态环境影响评价手续并取得了批复文件（闽环辐评〔2013〕15号、闽环辐评〔2019〕28号），并于2021年3月开展了竣工环境保护验收。

表 1-1 医院 1 号楼 4 层核医学科已许可非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	等级	使用场所	环评情况	验收情况
1	I-125	1.85E+4	1.85E+5	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评〔2013〕15 号	未开展
2	P-32	3.70E+8	3.70E+9				
3	Sr-89	2.96E+7	7.4E+10	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评〔2019〕28 号	2021 年 3 月已验收
4	I-125（粒子源）	1.85E+8	1.85E+10	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评〔2013〕15 号	未开展
5	C-14	1.2E+4	3.70E+6				
6	F-18	7.40E+6	1.33E+11				
7	Tc-99m	4.63E+8	1.11E+13	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评〔2019〕28 号	2021 年 3 月已验收
8	I-131	1.48E+9	1.48E+12				

（二）1号楼2层介入导管室介入（2）室UNIQ Clarity FD20/15型DSA机

本项目依托1号楼2层介入导管室介入（2）室使用的1台UNIQ Clarity FD20/15型DSA机进

行输注，最大管电压为125kV，最大管电流为1000mA，为II类射线装置，UNIQ Clarity FD20/15型DSA机已履行了生态环境影响评价手续并取得环评批复文件（闽环辐评〔2019〕28号），于2020年5月开展了竣工环境保护验收。

（三）7号楼16层东南侧床号01~03、04~06两间病房

医院7号楼（门急诊综合大楼）16层东南侧床号01~03、04~06两间病房现为肝胆胰外科二病区普通患者病房，因考虑临床需求，输注Y-90的患者需住院观察，因此本项目拟将这两间病房设置为Y-90患者专用病房。

二、本项目建设内容

（一）1号楼4层核医学科

在1号楼4层核医学科新增使用Y-90核素，并增加Tc-99m核素使用量，不新增工作场所，利用1号楼4层核医学科储存、分装、测量Y-90和Tc-99m，采用SPECT/CT机扫描检查。

本项目⁹⁰Y微球手术每天最大治疗患者数4人，每周最大治疗患者数8人，每年工作50周，每年最大治疗患者数400人。^{99m}Tc术前评估每天最大患者数8人，每周最大患者数16人，每年工作50周，每年术前评估最大患者数800人。^{99m}Tc药物前期模拟术前评估与⁹⁰Y药物治疗不在同一天进行。

单个病人Tc-99m核素最大用量为1.85E+8Bq，Y-90核素最大用量为3E+9Bq。本项目1号楼4层核医学科新增核素及用量情况一览表见表1-2。

表1-2 本项目1号楼4层核医学科新增核素及用量情况一览表

核素名称	每人最大用药量(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
Y-90	3E+9	1.2E+10	1.2E+8	1.2E+12	1号楼4层核医学科	储存、抽取、活度测量	乙级
Tc-99m	1.85E+8	1.48E+9	1.48E+6	1.48E+11		储存、分装、活度测量	

本项目1号楼4层核医学科现有核素日等效最大操作量为2.54E+9Bq，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Y-90核素和Tc-99m核素用量后核素日等效最大操作量为2.66E+9Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），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等级的核素，根据“《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）”的要求，本次评价范围仅对涉及Y-90微球治疗项目的核医学工作场所进行分析。

（二）1号楼2层介入导管室介入（2）室乙级非密封放射性物质工作场所

本项目Y-90治疗手术场所依托1号楼2层介入导管室介入（2）室，拟使用Y-90和Tc-99m两种核素，核素经工作人员从1号楼4层核医学科运送到介入导管室介入（2）室。本项目1号楼2层介入导管室介入（2）室核素使用情况一览表见表1-3。

表 1-3 本项目 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室核素使用情况一览表

核素名称	每人最大用药量(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
Y-90	3E+9	1.2E+10	1.2E+8	1.2E+12	1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室	介入注射	乙级
Tc-99m	1.85E+8	1.48E+9	1.48E+6	1.48E+11		介入注射	

注：Y-90 和 Tc-99m 不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。

（三）7号楼16层东南侧Y-90患者专用病房

因考虑临床需求，输注Y-90的患者需住院观察，因此本项目拟将7号楼（门急诊综合大楼）16层东南侧床号01~03、04~06肝胆胰外科二病区两间病房设置为本项目Y-90患者专用病房，均为双人间。为保障Y-90患者专用病房周围公众的辐射安全，本项目Y-90患者专用病房按控制区进行管理。

本项目患者输注的Y-90微球核素最大活度为3000MBq，根据生态环境部核与辐射安全中心开展的Y-90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2.14μSv/h。

1.2.2 项目由来

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定，厦门大学附属中山医院钇-90 微球治疗项目的介入导管室介入（2）室为乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国生态环境法典》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订本）（国务院令第 653 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定，生态环境部令第 20 号）、《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）等国家环境管理相关法律法规的规定，厦门大学附属中山医院钇-90 微球治疗项目应依法编制生态环境影响报告表。

厦门大学附属中山医院于 2026 年 3 月正式委托江西省地质局实验测试大队进行本项目环境影响评价（委托书详见附件 1）。江西省地质局实验测试大队则立即组织人员进行现场踏

勘和资料收集等相关工作，在此基础上编制完成了本项目生态环境影响报告表。

1.3 项目地理位置及周边环境

（一）项目位置

厦门大学附属中山医院本部位于福建省厦门市湖滨南路201-209号，中心地理坐标为：东经118° 5'32.2"，北纬24° 28'26.5"。项目地理位置图见图1-1。

本项目依托的介入导管室介入（2）室和核医学科分别位于1号楼（外科病房大楼）2层和4层。1号楼东侧为内部道路、绿地、2号楼（病房大楼）和6号楼（医技楼），南侧为内部道路及5号楼（振河楼），西侧为7号楼（门急诊综合大楼）、8号楼（综合楼）和内部道路，北侧为内部道路。

1号楼2层介入导管室介入（2）室东侧为缓冲区，南侧为介入导管室介入（1）室及其操作室，西侧为介入导管室介入（2）室操作区，北侧为设备间及更衣室，楼上为彩超检查室，楼下为摄片室（2）和过道。

1号楼4层核医学科东、南两侧均临空，西侧为办公区域，北侧为值班室和候诊区，楼上为重症医学科，楼下为病理科。

本项目两间 Y-90 患者专用病房位于 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区东南侧。7 号楼东侧为内部道路、1 号楼和 5 号楼，南侧为内部道路和湖滨南路，西侧为内部道路、宿舍楼（23 号楼、护士楼、25 号楼），北侧为内部道路、8 号楼和 1 号楼。

两间Y-90患者专用病房东侧、南侧临空，西侧为07~08床病房，北侧为过道，楼上为普通外科一病区病房（01~03、05床），楼下为肝胆胰外科一病区病房（01~06床）。

本项目各主要工作场所四周情况见表 1-4。

表 1-4 各主要工作场所四周情况一览表

工作场所	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
1 号楼	内部道路、绿地、2 号楼和 6 号楼	内部道路及 5 号楼	7 号楼、8 号楼和内部道路	内部道路	/	/
介入导管室介入（2）室	缓冲区	介入导管室介入（1）室及其操作室	介入导管室介入（2）室操作区	设备间及更衣室	彩超检查室	摄片室（2）和过道
核医学科	临空	临空	办公区域	值班室和候诊区	重症医学科	病理科
7 号楼	内部道路、1 号楼和 5 号楼	内部道路和湖滨南路	内部道路、宿舍楼（23 号楼、护士楼、25 号楼）	内部道路、8 号楼和 1 号楼	/	/

两间 Y-90 患者专用病房	临空	临空	07~08 床病房	过道	普通外科一病区病房（01~03、05 床）	肝胆胰外科一病区病房（01~06 床）
本项目辐射工作场所不毗邻产科、儿科和食堂等部门，同时避开了医院内人流量较大的住院区域、门诊大厅区域，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离”的相关要求，项目选址合理。 1.4 可行性分析 Y-90 微球治疗对于无法手术切除或消融、肝功能代偿和全身状况良好的原发或转移性肝癌，能有效控制肿瘤进展，显著延长患者生存时间和生存质量。本项目开展核医学治疗，对于晚期不可手术的肝部肿瘤，可延长肿瘤进展时间、减少患者痛苦、提高患者生存质量，更好地造福更多肝胆肿瘤患者，其使用过程中获得的利益远大于辐射可能造成的损害，符合实践正当性原则的要求。项目在加强管理后满足国家相关法律法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。 本项目为利用放射性物质进行放射诊疗，有利于满足医院不断发展的医疗需求。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不在《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中淘汰类和限制类范围内，因此本项目符合国家产业政策。 1.5 评价目的 （1）对本项目核技术利用场所及周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。 （2）通过生态环境影响评价，预测本项目对其周围生态环境影响的程度和范围，提出环境污染对策，为本项目的辐射环境管理提供科学依据。 （3）对不利影响和存在的问题提出防治措施，使辐射环境影响满足相关标准要求并减少到“可合理达到的尽量低的水平”。 （4）提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目生态环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。 1.6 原有核技术利用项目许可情况 （一）许可情况 厦门大学附属中山医院于 2026 年 7 月 17 日向福建省生态环境厅重新申领了辐射安全许可证，证书编号为“闽环辐证[00184]”，许可的种类和范围为使用 I 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，证书有效期至 2029 年 12 月 24 日，辐射安全许可证见附件 2。

（二）环保手续履行情况

厦门大学附属中山医院原有核技术利用项目环评手续履行情况详见表 1-5～表 1-7。

表 1-5 厦门大学附属中山医院已许可非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	等级	使用场所	环评情况	验收情况
1	I-125	1.85E+4	1.85E+5	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评（2013）15 号	未开展
2	P-32	3.70E+8	3.70E+9				
3	Sr-89	2.96E+7	7.4E+10	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评（2019）28 号	2021 年 3 月已验收
4	I-125（粒子源）	1.85E+8	1.85E+10	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评（2013）15 号	未开展
5	C-14	1.2E+4	3.70E+6				
6	F-18	7.40E+6	1.33E+11				
7	Tc-99m	4.63E+8	1.11E+13	乙级	1 号楼 4 层核医学科	闽环辐评（2019）28 号	2021 年 3 月已验收
8	I-131	1.48E+9	1.48E+12				
日等效量合计：2.54E+9Bq							
9	F-18	1.85E+8	1.85E+12	乙级	6 号楼一楼 PET 中心	闽环辐评（2014）6 号	2020 年 5 月已验收

表 1-6 厦门大学附属中山医院已许可密封源一览表

序号	核素名称	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	类别	用途	使用场所	环评情况	验收情况
1	Sr-90/Y-90	1.2E+09*2	V类	敷贴治疗	1 号楼 4 层 核医学科	备案号： 202335020300000 054	/
2	Ge-68	9.25E+07*1	V类	校准		闽环辐评 〔2014〕6 号	2020 年 5 月已 验收
3	Ge-68	4.65E+07*2	V类	校准			
4	Co-60	9.62E+12*25	I类	放射治疗	5 号楼地下一层放疗科	闽环辐评 〔2012〕76 号	

表 1-7 厦门大学附属中山医院已许可射线装置一览表

序号	名称	型号	数量	类别	使用场所	环评情况	验收情况
1	CT	IQON Spectral CT	1	III类	1 号楼二楼	备案号: 20203502120000255	/
2		SOMATOM Definition As 64	1	III类			
3	DSA	Artis Zee Biplane	1	II类		闽环辐评 (2014) 6 号	2020 年 5 月已验
4		UNIQ Clarity	1	II类		闽环辐评	

		FD20/15				(2019) 28 号	收
5	碎石机	HD.ESWL-Vm	1	Ⅲ类	1 号楼 三楼	备案号: 20203502030 0000467	/
6	SPECT/CT	NM/CT860	1	Ⅲ类	1 号楼四 楼核医学 科	备案号: 202435020300000072	/
7		Infinia VC Hawkeye	1	Ⅲ类		厦环监〔2012〕218 号	/
8		Discovery NM/CT 670	1	Ⅲ类		闽环辐评 (2019) 28 号	/
9	C 形臂 X 线机	Geelin 500A	1	Ⅲ类	1 号楼五 楼手术室	备案号: 20183502030 0000016	/
10		OEC Fluorostar Compact D	1	Ⅲ类			
11	移动 DR	Optima XR220amx	1	Ⅲ类	1 号楼 一楼	备案号: 20183502030 0000016	/
12	数字胃肠机	R200	1	Ⅲ类		备案号: 20203502120 0000255	/
13	DR	Definition 6000	1	Ⅲ类		闽环辐评 (2018) 24 号	/
14	DR	RAD Speed Plus	1	Ⅲ类		备案号: 20203502120 0000255	/
15	DR	AXIOM Aristos FX Plus	1	Ⅲ类		备案号: 20203502120 0000255	/
16	移动 DR	Mobilett XP Digital	1	Ⅲ类		备案号: 20203502120 0000255	/
17	平板胃肠机	Luminos dRf	1	Ⅲ类			/
18	DR	Aristos VX	1	Ⅲ类			/
19	乳腺 DR	Mammomat Inspiration DR	1	Ⅲ类			/
20	CT	SOMATION Definition AS 128	1	Ⅲ类		备案号: 20183502030 0000959	/
21		Ingenuity CT	1	Ⅲ类			
22	DR	Ysio	1	Ⅲ类	3 号楼 三楼	备案号: 20183502030 0000959	/
23	平板胃肠机	Luminos dRf	1	Ⅲ类		备案号: 20223502030 0000037	/
24	CT	SOMATION Definition Flash	1	Ⅲ类			/
25	CT	Incisive CT Power	1	Ⅲ类		备案号: 20183502030 0000959	/
26	骨密度	Lunar iDXA	1	Ⅲ类	3 号楼 四楼	闽环辐评 (2018) 24 号	/
27	DR	Multix Select	1	Ⅲ类		备案号: 20203502120 0000255	/
28	CT	Revolution CT	1	Ⅲ类	3 号楼 一楼	备案号: 20183502030 0000016	/

29	DSA	UNIQ Clarity FD20	1	II类		闽环辐评 (2018) 24 号	2020 年 5 月 已验 收
30	全景牙科 X 线机	OC 200D	1	III类	4 号楼门 诊楼四楼	备案号: 20183502030 0000959	/
31	DR	DEFINIUM 6000	1	III类	4 号楼 五楼	备案号: 20203502120 0000255	/
32	医用直线 加速器	Clinac23EX	1	II类	5 号楼地 下一层 放疗科	厦环监(2008)表 259 号	2010 年 7 月 已验 收
33	CT	SOMATOM Sensation Open	1	III类		备案号: 20183502030 0000959	/
34	DSA	UNIQ Clarity FD20	1	II类	5 号楼 四楼	闽环辐评 (2020) 39 号	2022 年 5 月 已验 收
35	DSA	Azurion 7M20	1	II类			2023 年 2 月 已验 收
36	PET-CT	Bilgraph	1	III类	6 号楼一 楼核 PET 中心	闽环辐评 (2014) 6 号	2020 年 5 月 已验 收
37	C 型臂 X 线机	OEC9900 Elite	1	III类	7 号楼 7 楼胃镜室	备案号: 202635020300000090	/
38	数字移动式 C 形臂 X 射线机	PLX7100A	1	III类			/
39	牙科 X 线机	CS2200	1	III类	7 号楼 8 楼口腔科	备案号: 202635020300000097	/
40	口腔四合一	Smart 3D-X	1	III类			/
41	牙科 X 射线机	HeiodentPlusD3507	1	III类		备案号: 202635020300000079	/
42	口腔 X 射线数 字化体层摄影 设备	NewTomvGi	1	III类			/
43	CT	SOMATOMgo.Sim	1	III类	7 号楼负 一楼放疗 楼	备案号: 202635020300000090	/
44	CT	Incisive CT Power	1	III类	发热门诊 部一层	备案号: 20223502030 0000037	/
45	骨密度仪	Lunar Prodigy Advance	1	III类	金榜分部 放射科	备案号: 20183502030 0000961	/
46	胃肠机	XUD150L-30F	1	III类			

47	DR	Multix Select DR	1	Ⅲ类	厦禾分部 放射科	备案号: 20183502030 0000960	/
48		RAD Speed Plus	1	Ⅲ类		备案号: 20183502030 0000960	/
49	局部骨密度仪	MetriScan	1	Ⅲ类		闽环辐评 (2018) 24 号	/
50	X 射线计算机 体层摄影装置	NeuViz16 Classi C	1	Ⅲ类		备案号: 202435020300000058	/
51	牙片 X 线机	RAY68	1	Ⅲ类		备案号: 20183502030 0000960	/

(三) 辐射安全管理

(1) 医院成立了放射防护与辐射安全委员会, 制定了《核医学规章制度》《辐射工作人员培训考核制度》《监测计划》《介入放射科各规章制度》等辐射安全管理制度, 并严格遵守执行。

(2) 医院辐射工作场所均设置有电离辐射警告标志、工作状态指示灯等辐射防护措施。

(3) 医院于每年1月31日前提交上一年度评估报告, 2025年年度评估报告已上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”进行备案, 且每年委托有资质的单位对医院辐射工作场所监测, 监测结果符合标准要求。

(4) 医院辐射工作人员培训、个人剂量监测和职业健康监护档案情况:

①辐射工作人员培训: 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。

②医院所有工作人员均配有个人剂量计, 接受剂量监测, 建立个人剂量监测档案并存档, 根据医院个人剂量监测年度报告(监测周期: 2024年12月12日—2025年12月6日), 全年累计剂量最大值为2.23mSv, 低于剂量约束值5mSv/a的要求, 亦满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)标准要求。

③医院辐射工作人员均已参加职业健康体检, 建立了健康体检档案, 检测结果均可继续原放射工作。

1.7 与“生态环境分区管控”相符性分析

(1) 生态保护红线

本项目地址为厦门市思明区湖滨南路 201-209 号, 地块位于厦门市本岛中心城区, 属于医疗卫生用地。根据厦门市生态保护红线划定成果, 全市陆域未划定生态保护红线, 生态保护红线集中分布于近海海域, 本项目场地与海洋生态保护红线相隔较远, 用地范围未涉及任何生态保护红线区域。

（2）环境质量底线

本项目拟建工作场所环境 γ 辐射剂量率与厦门市天然环境本底水平相当， β 表面污染未检出，本项目辐射防护措施完善，不会突破区域辐射环境质量底线，符合辐射安全管控要求。

（3）资源利用上线

本项目核医学科工作场所运行过程中会消耗一定量的水、电资源，但项目资源消耗量较少，符合资源利用上线要求。

（4）生态环境准入清单

根据福建省生态环境分区管控数据应用平台综合查询结果（图 1-13）可知，本项目属于思明区北部城市建成区重点管控单元 1（ZH35020320002），该管控单元的空间布局约束要求见表 1-8。

表 1-8 本项目生态环境准入要求符合性分析表

环境管控单元名称及代码	单元类型	生态环境准入要求		本项目情况	符合性
思明区北部城市建成区重点管控单元 1（ZH35020320002）	重点管控单元	空间布局约束	1. 禁止新建有大气、水污染物排放的工业生产项目，改、扩建项目不得新增排放因子和排放总量，对已建项目进行整合升级。 2. 禁止在人口聚集区新建涉及危险化学品和危险废物的集中仓储项目（加油站、加油站和燃气充装站等城镇基础能源保供设施配套的仓储按国土空间规划要求执行）。	本项目不属于工业生产项目及危险化学品的集中仓储项目。	符合
		污染物排放管控	按厦门市总体准入要求—陆域—污染物排放管控—第8条执行。	本项目三废处置符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。	符合
		环境风险防控	/	/	/
		资源开发效率要求	在禁燃区内，禁止销售、燃用高污染燃料，禁止新建、扩建相应的高污染燃料燃用设施。	本项目不属于高污染燃料燃用设施。	符合

综上所述，本项目不涉及生态保护红线，符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求，并与思明区北部城市建成区重点管控单元 1（ZH35020320002）相符。

思明区地图

基本要素版



审图号：闽S（2025）253号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制

图 1-1 项目地理位置图

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	⁹⁰ Y	悬浮液，半衰期 64.2h，中毒。	使用	1.2E+10	1.2E+8	1.2E+12	肿瘤治疗	很简单操作	1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室、1 号楼 4 层核医学科	1 号楼 4 层核医学科分装注射室	/
2	^{99m} Tc	液态，半衰期 6.02h，低毒。	使用	1.48E+9	1.48E+6	1.48E+11	显像诊断	很简单操作		1 号楼 4 层核医学科分装注射室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流（mA） /剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1台	UNIQ Clarity FD20/15	125	1000	介入治疗	1 号楼 2 层介入导管室介入（2） 室	依托原有
2	SPECT/CT	III类	1 台	Discovery NM/CT 670	140	440	显像	1 号楼 4 层核医学科 ECT 一室	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 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》（2026年3月12日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，2026年8月15日起施行）； (2) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院令第682号，2017年10月1日起实施）； (3) 《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709号，2019年修订）； (4) 《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）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定，生态环境部令第20号）； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保护部令第18号，2011年5月1日起施行）； (7) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》（环办函〔2006〕629号，2006年9月28日印发）； (8) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年12月1日第6次委务会议审议通过，自2024年2月1日起施行）； (9) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》（生态环境部，2020年2月）； (10) 《关于做好放射性废物（源）收贮工作的通知》（环办辐射函〔2017〕609号，原环境保护部办公厅，2017年4月21日起施行）； (11) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号，2006年9月26日）； (12) 《放射性废物安全管理条例》（2011年12月20日国务院第612号令发布，2012年3月1日起施行）； (13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）； (14) 《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）； (15) 《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日起施行）； (16) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行）；
------	---

	（17）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 第 57 号，2020 年 1 月 1 日起实施）； （18）《国家危险废物名录（2025 年版）》（生态环境部令第 36 号，2025 年 1 月 1 日起施行）； （19）关于发布《建设项目危险废物环境影响评价指南》的公告（环境保护部第 43 号，2017 年 9 月 1 日起实施）； （20）《关于规范放射性同位素与射线装置豁免备案管理工作的通知》（环办辐射〔2018〕49 号）。
--	---

技术标准	(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）； (2) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； (3) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； (4) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； (6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (7) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (9)《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(HAD401-16-2023)。
------	---

其他	(1) 委托书（附件 1）； (2) 《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015年）； (3) 《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）； (4) 《辐射安全手册》（潘自强主编）； (5) 《辐射防护导论》（方杰主编）； (6) 《辐射防护手册》（第三分册）； (7) 其他技术资料。
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中第 1.5 条规定：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。考虑到本项目的实际情况，本次项目评价范围为 1 号楼 4 层核医学科、1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室和 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区东南侧 Y-90 患者专用病房实体屏蔽墙体外周边 50m 范围。

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，辐射工作人员主要为本项目放射性药物的准备、分装、SPECT/CT 操作人员、DSA 控制室操作人员、DSA 机房内介入人员（含 Y-90 和 Tc-99m 药物输注）、Y-90 和 Tc-99m 药物和患者运送人员、护理人员，公众人员包括医院非本项目工作人员、病人、陪护人员等。本项目周边具体环境保护目标见下表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

表 7-1 环境保护目标一览表							
环境保护对象			位置	相对方位	距离	规模	剂量约束值
1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室	职业人员	操作人员	控制室	西侧	紧邻	1 人	5mSv/a
		介入人员	DSA 室内	/	/	5 人	
		运送人员	/	/	/		
	公众人员		缓冲区	东侧	紧邻	流动人员	0.1mSv/a
			介入导管室介入（1）室及操作室	南侧	紧邻	5 人	
			设备间及更衣室	北侧	紧邻	1 人	
			彩超检查室	楼上	紧邻	3 人	
摄片室（2）和过道			楼下	紧邻	5 人		
1 号楼 4 层核医学科	职业人员		放射性药物的准备、分装、SPECT/CT 操作、Y-90 治疗剂量估算	/	/	6 人	5mSv/a
	公众成员		办公区域	西侧	紧邻	约 10 人	0.1mSv/a
			值班室和候诊区	北侧	紧邻	约 20 人	
			重症医学科	楼上	紧邻	约 10 人	
			病理科	楼下	紧邻	约 8 人	
7 号楼 16 层东南侧 Y-90 患者专用病房	职业人员	留观护理人员	Y-90 患者专用病房	/	/	4 人	5mSv/a
	公众人员		病房（07 和 08 床）	西侧	紧邻	4 人	0.1mSv/a
			过道	北侧	紧邻	流动人员	
			普通外科一病区病房（01~03、05 床）	楼上	紧邻	约 8 人	
			肝胆胰外科一病区（01~06 床）	楼下	紧邻	约 12 人	
公众人员			1 号楼（外科病房大楼）	介入导管室介入（2）室和核医学科所在的楼	0.3m	约 1000 人	0.1mSv/a
			2 号楼（病房大楼）	核医学科东北侧	26m	约 350 人	0.1mSv/a
			5 号楼（振河楼）	核医学科南侧	11m	约 600 人	0.1mSv/a
			6 号楼（医技楼）	核医学科东侧	3m	约 300 人	0.1mSv/a
			7 号楼（门急诊综合大楼）	Y-90 患者专用病房所在楼	0.3m	约 1000 人	0.1mSv/a
			8 号楼（综合楼）	Y-90 患者专用病房西北侧	42m	约 350 人	0.1mSv/a

7.3 评价标准

7.3.1 职业照射、公众照射剂量限值与剂量约束值

1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

附录B中对“剂量限值”要求如下：

（1）职业照射剂量限值

- 1) 由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- 2) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- 3) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- 4) 四肢（手和脚）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

（2）公众照射剂量限值

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

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

2. 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

第4.4.2.1款规定：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a；

第4.4.2.2款规定：公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

3. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）

第6.1.1款规定：对职业照射用年有效剂量评价，应符合GB18871-2002的B1.1的规定。

6.1.3款规定：对职业照射受照剂量大于调查水平时，除记录个人监测的剂量结果外还应作进一步调查，本标准建议的年调查水平为有效剂量5.0mSv/a。

综上所述，本次评价以不超过5.0mSv作为辐射工作人员年有效剂量约束值；以不超过0.1mSv作为公众人员年有效剂量约束值。

7.3.2 非密封源工作场所分级

1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

附录C 中对非密封源工作场所分级原则及计算方法规定如下：

（1）非密封源工作场所分级原则

表 7-2 非密封源工作场所分级

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- 2×10^7

(2) 放射性核素的日等效操作量的计算

日等效操作量=日操作量×核素毒性因子÷操作方式的修正因子

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下表7-3和表7-4。

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以下两表:

表 7-3 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
高度	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-4 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

2. 《核医学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作量的大小分为甲级、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 7-5 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 7-6 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
发生器淋洗	母体 (液态)	贮存	100
	子体 (液态)	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	很简单操作	10
放射性药品生产	分装、标记 (液体)	简单操作	100
	分装、标记 (固体)	简单操作	1
核素治疗	^{131}I (液态)	简单操作	1

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 ⁹⁰Y 核素介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单操作”。

综上所述，本项目 ^{99m}Tc 操作方式为很简单操作、⁹⁰Y 操作方式为很简单操作。

7.3.3 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），应将辐射工作场所分为控制区、监督区。

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。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）4.3.2 和 4.3.3，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；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。

7.3.4 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）中第6.2.3条款，工作场所的放射性表面污染控制水平详见表7-7。

表 7-7 工作场所的放射性表面污染控制水平

表 面 类 型		β放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
1) 该区内的低污染子区除外		

7.3.5 放射性物质向环境排放的控制水平

1.放射性废水

(1) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期(含碘-131

核素的暂 存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1 Bq/L、总β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/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。

（2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

第 8.6.2 条款规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，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。

根据 B1.3.4 和 B1.3.5 条规定，对于职业照射，在一定的假设下可将 I_{j,L} 用作 ALI。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量限值 I_{j,L} 计算公式：

$$I_{j,L} = \frac{D_L}{e_j}$$

D_L—相应的有效剂量的年剂量限值，即辐射工作人员年有效剂量限值 20mSv/a；

e_j—GB18871-2002 给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值。

本项目放射性核素排放导出限值见表 7-8。

表 7-8 放射性核素排放导出限值

核素名称	ALI _{min} 一次排放限值（Bq）	10ALI _{min} 月排放限值（Bq）
⁹⁰ Y	7.41E+06	7.41E+07
^{99m} Tc	6.90E+08	6.90E+09

2.放射性固体废物

（1）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

第 7.2.3.1 款规定：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：

1) 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；

2) 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。

(2) 《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》(HAD401-16-2023)

附录III 核医学放射性废物清洁解控流程示例：

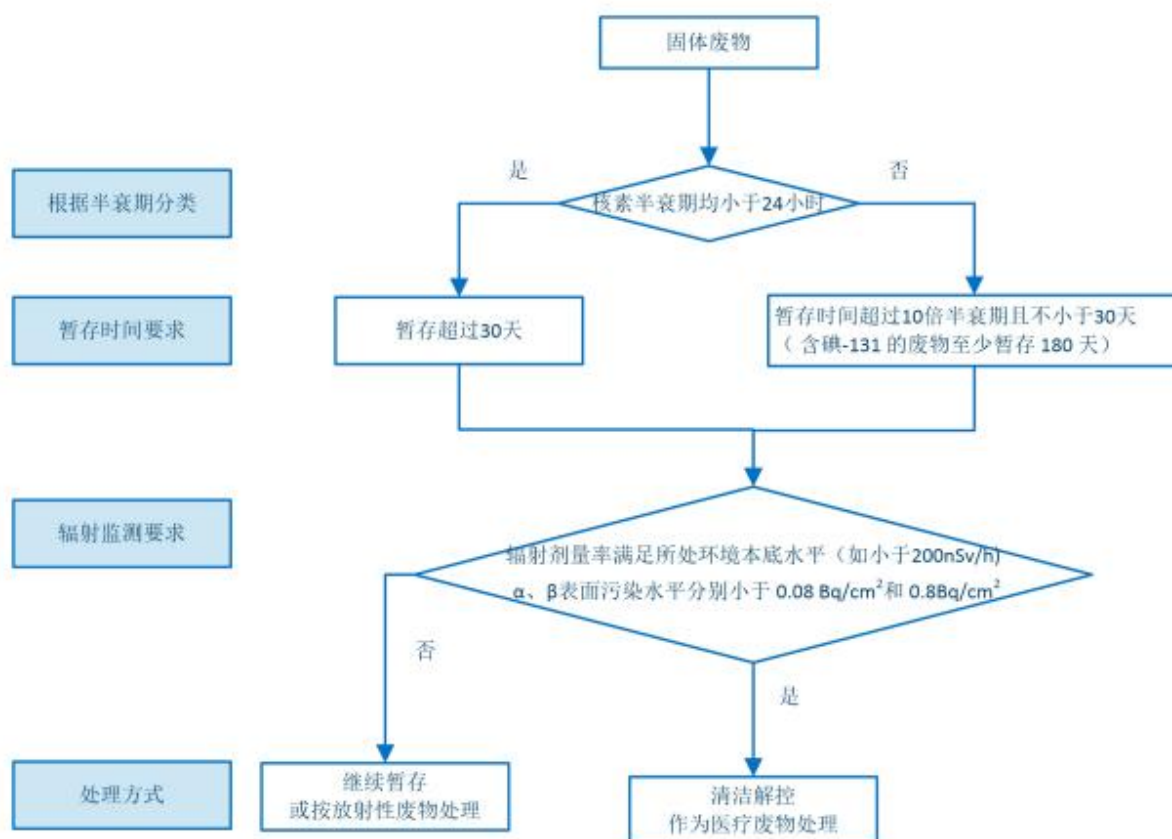


图1 固体废物解控示例

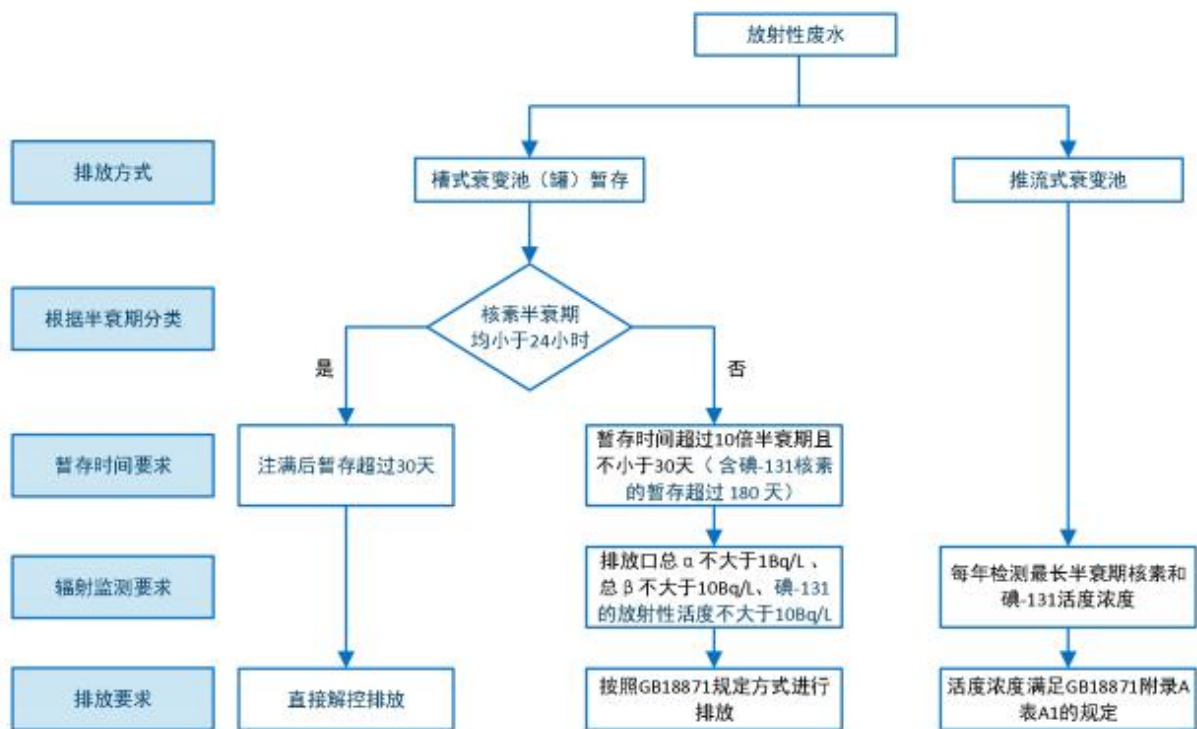


图2 废水排放示例

3.放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，核医学工作场所放射性废气处理要求如下：

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

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

第 7.4.1 款规定：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。

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

7.3.6 工作场所周围剂量当量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中第 6.1.5 款规定：

①距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。

②放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h。

综上，本项目控制区边界外和控制区内房间外剂量率目标控制值执行：“各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h”的限值要求。

7.3.7 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 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)
	$\beta_{\max}$	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）。

表 8 环境质量与辐射现状

8.1 监测计划

1.项目地理和场所位置

厦门大学附属中山医院本部位于福建省厦门市湖滨南路 201-209 号，本项目辐射工作场所主要为 1 号楼 4 层核医学科、1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室和 7 号楼 16 层东南侧 Y-90 患者专用病房，项目地理位置见图 1-1。为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，江西省地质局实验测试大队于 2026 年 3 月 27 日对项目所在地进行了辐射环境现状监测。

2.监测内容与点位

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）并结合本项目的实际情况进行监测布点，本次监测主要针对拟建辐射工作场所及周边环境γ辐射剂量率和β表面污染进行监测。现状监测时，介入（2）室 DSA 处于关机状态，分装注射室通风橱（镅）内无放射性药物，ECT 一室无患者扫描，废物（镅）室存放若干放射性固体废物。

3.监测仪器与规范

辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪	仪器名称	便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪
	仪器型号及编号	主机：FH40G，探头：FHZ672 E-10，F119
	生产厂家	Thermo Scientific
	测量范围	**nSv/h~**μSv/h
	能量范围	**keV~**MeV
	监测规范	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）
	监测单位	江西省地质局实验测试大队
	监测时间	2026 年 3 月 27 日
	校准证书编号	2025H21-10-5970005002
	有效期	2025 年 6 月 30 日—2026 年 6 月 29 日
	校准单位	中国计量科学研究院
α、β表面污染仪	仪器型号	LB 124SC(F136)
	生产厂家	BERTHOLD
	监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《表面污染测定第 1 部分：β发射体（E _{βmax} > 0.15MeV）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）
	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）

	检定证书编号	2026H21-20-6318567001
	有效日期	2026 年 1 月 19 日—2027 年 1 月 18 日
	监测单位	江西省地质局实验测试大队

4.质量保证措施

- a 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，同时满足标准要求。
- b 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。
- c 监测仪器每年定期经计量部门检定/校准，检定/校准合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

8.2 辐射环境质量现状监测结果

江西省地质局实验测试大队于 2026 年 3 月 27 日对评价项目场址及周边区域的辐射环境现状进行监测，监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目周围环境 γ 辐射剂量率监测数据

序号	监测位置	环境 γ 辐射剂量率（nGy/h）		备注
		测量结果	标准偏差	
1	介入（2）室	**	**	室内
2	介入（2）室东侧缓冲区	**	**	室内
3	介入（2）室南侧介入（1）室	**	**	室内
4	介入（2）室南侧介入（1）室操作室	**	**	室内
5	介入（2）室西侧操作区	**	**	室内
6	洗手间	**	**	室内
7	介入（2）室北侧更衣室	**	**	室内
8	介入（2）室北侧设备间	**	**	室内
9	介入（2）室楼上彩超检查室	**	**	室内
10	介入（2）室楼下摄片室（2）	**	**	室内
11	Y-90 患者专用病房（一）	**	**	室内
12	Y-90 患者专用病房（二）	**	**	室内
13	Y-90 患者专用病房北侧过道	**	**	室内
14	Y-90 患者专用病房西侧病房（07~08 床）	**	**	室内
15	Y-90 患者专用病房楼上普通外科一病区病房（01~03 床）	**	**	室内
16	Y-90 患者专用病房楼上普通外科一病区病房（05 床）	**	**	室内
17	Y-90 患者专用病房楼下肝胆胰外科一病区病房（01~03 床）	**	**	室内

18	Y-90 患者专用病房楼下肝胆胰外科一病区病房 (04~06 床)	**	**	室内
19	ECT 一室	**	**	室内
20	ECT 一室西侧医护通道	**	**	室内
21	ECT 一室北侧护士站	**	**	
22	ECT 一室东侧受检者通道	**	**	室内
23	分装注射室	**	**	室内
24	废物 (锝) 室	**	**	室内
25	楼上重症医学科门口	**	**	室内
26	楼下病理科门口	**	**	室内
27	1 号楼东侧内部道路	**	**	室外
28	2 号楼西侧旁	**	**	室外
29	6 号楼北侧旁	**	**	室外
30	5 号楼北侧旁	**	**	室外
31	1 号楼西侧内部道路	**	**	室外
32	1 号楼北侧院内部道路	**	**	室外
33	7 号楼南侧内部道路	**	**	室外
34	7 号楼西侧内部道路	**	**	室外
35	8 号楼东侧旁	**	**	室外

注：以上数据均已扣除宇宙射线的贡献。

本项目表 8-2 所列监测数据已根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 第 5.5 条扣除仪器对宇宙射线的响应值，环境γ辐射剂量率测量结果按下式计算：

$$\dot{D}_{\gamma} = k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times \dot{D}_c$$

式中： $\dot{D}_{\gamma}$ —测点处环境γ辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；

k_1 —仪器检定/校准因子；

k_2 —仪器检验源效率因子；

R_{γ} —仪器测量读数均值，Gy/h；

k_3 —建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子；

$\dot{D}_c$ —测点处宇宙射线响应值。

表 8-3 项目辐射工作场所周围环境 β 表面污染监测结果

序号	监测位置		β 表面污染 (Bq/cm ²)	
			测量结果	标准偏差
1	介入 (2) 室	墙面	**	**
		地面	**	**
		DSA 床面	**	**
2	介入 (2) 室东侧缓冲区	墙面	**	**
		地面	**	**
3	介入 (2) 室西侧操作区	墙面	**	**
		地面	**	**
		桌面	**	**
4	Y-90 患者专用病房 (一)	墙面	**	**
		地面	**	**
		卫生间墙面	**	**
		卫生间地面	**	**
5	Y-90 患者专用病房 (二)	墙面	**	**
		地面	**	**
		卫生间墙面	**	**
		卫生间地面	**	**
6	Y-90 患者专用病房北侧过道	墙面	**	**
		地面	**	**
7	ECT 一室	墙面	**	**
		地面	**	**
8	ECT 一室西侧医护通道	墙面	**	**
		地面	**	**
9	ECT 一室北侧护士站	墙面	**	**
		地面	**	**
10	ECT 一室东侧受检者通道	墙面	**	**
		地面	**	**
11	分装注射室	墙面	**	**
		地面	**	**
12	废物 (钨) 室	墙面	**	**
		地面	**	**

注: MDC 为探测下限, β 表面污染探测下限值为**Bq/cm²。

8.3 辐射环境质量现状评价

根据表 8-2，本项目所在位置以及周边室内环境 γ 辐射剂量率在**~**nGy/h 之间，周边外环境 γ 辐射剂量率在**~**nGy/h 之间，与厦门市室内、室外辐射环境本底相当，但均在福建省室内、室外辐射环境本底范围值内（注：厦门市室内辐射环境本底范围值为 161.9~193.5nGy/h，原野及道路辐射环境本底范围值为 72.7~129.4nGy/h；福建省室内本底值为 70.9~351.7nGy/h，原野及道路本底范围值为 25.9~399.1nGy/h。均来源于《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月第 1 版）第 390 页表 5）。

由表 8-3 可知，本项目工作场所周围环境 β 表面污染水平**~**Bq/cm²，工作场所辐射环境现状良好。

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 工作原理

钇-90 微球是一款靶向放射治疗产品，直径 20μm~60μm，由含有钇的生物相容性微球组成，Y-90 微球是通过化学方法从 ⁹⁰Sr 中提取，将其离子键结合在微球上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，需二次分装。



图9-1 Y-90微球产品图

钇是一种化学元素，简写符号为 Y，钇在常温下呈银色固体，钇块在空气中较稳定，但钇金属粉末属于易燃物质。Y-90 为 Y 的一种放射性同位素，发射纯β射线，最高能量为 2.27MeV，平均能量为 0.936MeV，物理半衰期为 64.2h（2.675d），辐射范围小，在组织中最大射程为 11mm，平均射程为 2.5mm，其衰变产物为稳定无毒的 ⁹⁰Zr。

人体对Y-90不具有特殊摄取的功能，将其结合到载体上并制成微小颗粒，通过动脉插管的方式将Y-90放射性微球注入肿瘤血管，使其滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞。Y-90到达目标位置后，可利用其衰变过程中释放射线所产生的电离辐射生物

效应对肿瘤细胞持续作用，且在体内射程短，在有效杀伤肿瘤细胞的同时相对避免了对周围正常组织的损伤，而肝癌细胞的倍增时间为41d，故Y-90能在肝癌细胞倍增前释放大多数射线进而杀灭肿瘤细胞，较适合用于治疗肝脏恶性肿瘤。通过特殊工艺，可使微球物化结构稳定，不被血流冲刷分解，也不会被本身产生的β射线破坏，直径均匀一致，不能通过毛细血管网或被巨噬细胞吞噬，生物相容性好。Y-90微球可随血流到达肿瘤末梢血管，持续照射以达到治疗的目的。绝大多数Y-90微球经动脉插管输送至肿瘤血管，选择性地栓塞在肿瘤微血管末端并发射高强度的β射线，Y-90微球在体内不会降解，少量Y-90微球和游离的Y-90核素会通过血液参与人体代谢，最终通过尿液排出体外。游离的微量⁹⁰Y核素以氯化钇（⁹⁰YCl₃）形式存在，氯化钇（⁹⁰YCl₃）不具备挥发性，正常操作情况下难以在空气中形成气溶胶。

核素 ^{99m}Tc 为 ⁹⁹Tc 的同质异能素，半衰期为 6.02 小时，主要获取方式：⁹⁹Mo 衰变子体。^{99m}Tc 发生跃迁时释放 γ 射线，能量为 145.5keV，其子体为核素 ⁹⁹Tc。

9.1.2 操作流程

为了保证Y-90微球的治疗效果，在治疗前7—14天对患者进行放射性药物Tc-99m实验，在介入条件下输注^{99m}Tc-MAA（锝-99m标记的亚锡聚合白蛋白），以模拟Y-90微球在体内的分布，确保患者病灶处能够将Y-90微球有效栓塞，避免患者接受无效的辐射照射。每次患者使用^{99m}Tc-MAA的活度最大为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ （5mCi），辐射工作人员使用DSA机完成插管，确保导管末端处于患者病灶附近，将^{99m}Tc-MAA注入患者病灶位置。随后，将患者转移至核医学科进行SPECT/CT检查，以评估患者肺部分流情况、正常组织和肿瘤组织接受剂量的比例。

Y-90 微球以介入式治疗形式进行，Y-90 微球通过导管经由肝总动脉、右肝动脉或左肝动脉输注引导到肝脏肿瘤中，在输送到肝动脉后，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。

具体手术分两个阶段，第一阶段在治疗前 1-2 周需做肝内 Tc-99m 标记的亚锡聚合白蛋白扫描，第二阶段为 Y-90 微球输注。

第一阶段具体步骤如下：

（1）药物转运

介入科工作人员将分装好的^{99m}Tc-MAA（医院外购）从1号楼4层核医学科运送至1号楼2层介入导管室介入（2）室，单次转运时间约**min。

(2) 介入 (2) 室内准备

介入科护士提前在1号楼2层介入导管室介入 (2) 室的手术台及附近地面铺设吸水垫。介入治疗医师穿戴防护用品并在DSA影像设备引导下, 通过股动脉将导管插入患者肿瘤位置。

(3) 介入手术推注药物

介入辐射工作人员于1号楼2层介入导管室介入 (2) 室在数字减影血管造影的引导下放置导管并栓塞胃肠侧支血管, 进行腹部X射线扫描确定导管位置后将^{99m}Tc-MAA经肝动脉导管输注, 模拟微球植入手术操作, 缓慢输注以防止层流产生的假象。

(4) 术后介入 (2) 室处理

患者被介入人员送离1号楼2层介入导管室介入 (2) 室后, 由介入科护士对手术工作人员体表和场所地面、手术台表面测量表面污染情况, 放射性固体废物收集后由介入人员转移至1号楼4层核医学科废物 (锝) 室内暂存衰变, 并对固体废物转移进行台账记录。

(5) 术后检查

输注完成后为患者穿戴铅防护衣并送至1号楼4层核医学科ECT一室, 利用SPECT/CT机进行显像扫描腹部和胸部的前后影像以及腹部的右侧影像, 包括整个肝脏和肺部。^{99m}Tc-MAA模拟输注扫描完成后无需住院, 患者直接离开。根据SPECT影像进行数据处理, 确定肺分流的活度, 判断是否适用Y-90微球治疗。

第二阶段: Y-90 微球输注

(1) 药物分装及转运

①提前向药物商订购⁹⁰Y微球注射液,⁹⁰Y微球注射液一般于手术当天上班前运至医院内, 由专门人员将⁹⁰Y微球注射液储源铅罐暂存于1号楼4层核医学科分装注射室通风橱 (锝) 内。

②每瓶⁹⁰Y微球到医院的活度为** (标定时间), 本项目保守考虑取最大**Bq。在手术前先对⁹⁰Y微球注射液进行分装。具体流程如下:

活度测量: 盖好铅罐盖, 倒转铅罐剧烈摇晃30s, 打开铅罐盖, 用长柄镊子夹住⁹⁰Y微球注射液, 使用活度计进行活度测量。

核素分装: 倒转铅罐剧烈摇晃30s, 打开铅罐盖, 使用镊子移除铝制封盖并用酒精棉球擦拭橡胶盖, 插入通气针, 插入戴有15mm有机玻璃防护套的注射器, 并抽吸吹打

微球 6 次以上（时长约 1min）。



图 9-2 ^{90}Y 微球分装图

转移至 V 瓶：使用带有 15mm 有机玻璃防护套的注射器抽取事先计算好的微球悬浮液体积，将悬浮液注入 V 瓶，V 瓶置于 15mm 有机玻璃 V 架上。抽取完成后，测量 ^{90}Y 微球运输瓶内的剩余活度，确保抽取活度正确。

③介入科工作人员将装有 Y-90 微球 V 型瓶的 Nalgene 亚克力转运桶，使用医用不锈钢小推车从核医学科推至 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室，单次转运时间约**min。转运过程由 2 名介入辐射工作人员负责，一人负责推送，一人提前进行路线清场。

放射性核素接收和送达将进行登记，详细记录接收人员、接收时间、接收核素种类、送达人员、送达时间、送达核素种类。本项目与核医学科原有项目采用错峰开展的方式进行，不与核医学科原有项目路径存在交叉。

（2）介入（2）室内准备

介入科护士提前在 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室的手术台及附近地面铺设吸水垫。介入治疗医师穿戴防护用品并在 DSA 影像设备引导下，通过股动脉将导管插入患者肿瘤位置。

（3）输送箱连接

介入科护士将 V 型架放入输送箱内的扣环上，取下塞子并为 V 型瓶消毒，连接输送液、三通旋阀、无菌水或 5% 旋糖苷和造影剂等辅助材料。

（4）介入手术推注药物

输送箱连接好后，先手动压住注射防护盒外 B 口注射器注射造影剂复查导管位置；其次使用 B 口另一个注射器注入无菌水或 5% 旋糖苷冲洗导管，避免管道中与 Y-90 微球混合；通过 D 口脉冲注入无菌水使 V 型瓶内的微球形成悬浮液，通过 V 型瓶 C 口将 Y-90 微球经连接病人体内的导管 A 口压入患者体内，直达病灶。将微球分小剂量多次注入，过程

大概持续30min，此时Y-90药物输注工作人员位于介入（2）室内。最后通过B口注入无菌水或5%旋糖苷，避免微球滞留在导管内。完成后，将导管从患者体内取出，将注射器、导管等放置于废物桶内。

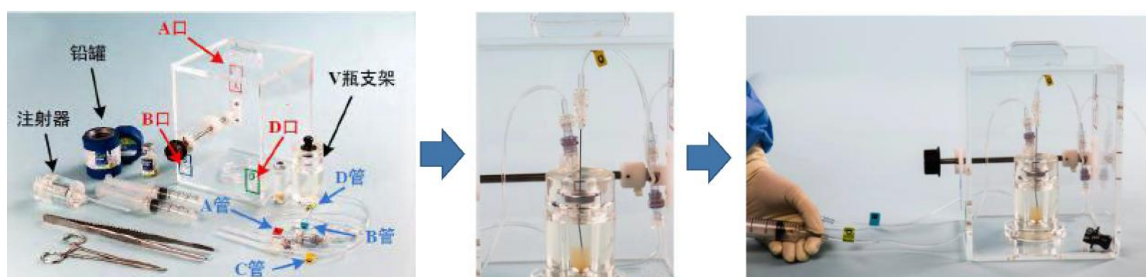


图9-3 输送箱连接和介入手术推注药物流程图

（5）术后介入（2）室处理

患者被送离1号楼2层介入导管室介入（2）室后，由介入科护士对手术工作人员体表和场所地面、手术台表面测量表面污染情况，放射性固体废物收集后转移至1号楼4层核医学科废物（锝）室内暂存衰变，并对固体废物转移进行台账记录。

（6）术后检查

Y-90输注完后，于患者的右上腹部肝区体表铺设0.5mmPb的方巾，由介入科护士将患者转移至1号楼4层核医学科ECT一室内进行SPECT/CT显像，对治疗区域进行剂量学评估，同时观察是否有意外的肝外分流，为不良反应时间的早期应对提供依据。

（7）患者住院留观

SPECT/CT显像结束后，于患者的右上腹部肝区体表铺设0.5mmPb的方巾，由介入科护士将患者转移至7号楼16层肝胆胰外科二病区东南侧⁹⁰Y患者专用病房内住院留观1~2天左右后离开。

⁹⁰Y肿瘤治疗第一阶段和第二阶段工作流程及产污环节见图9-4和图9-5。

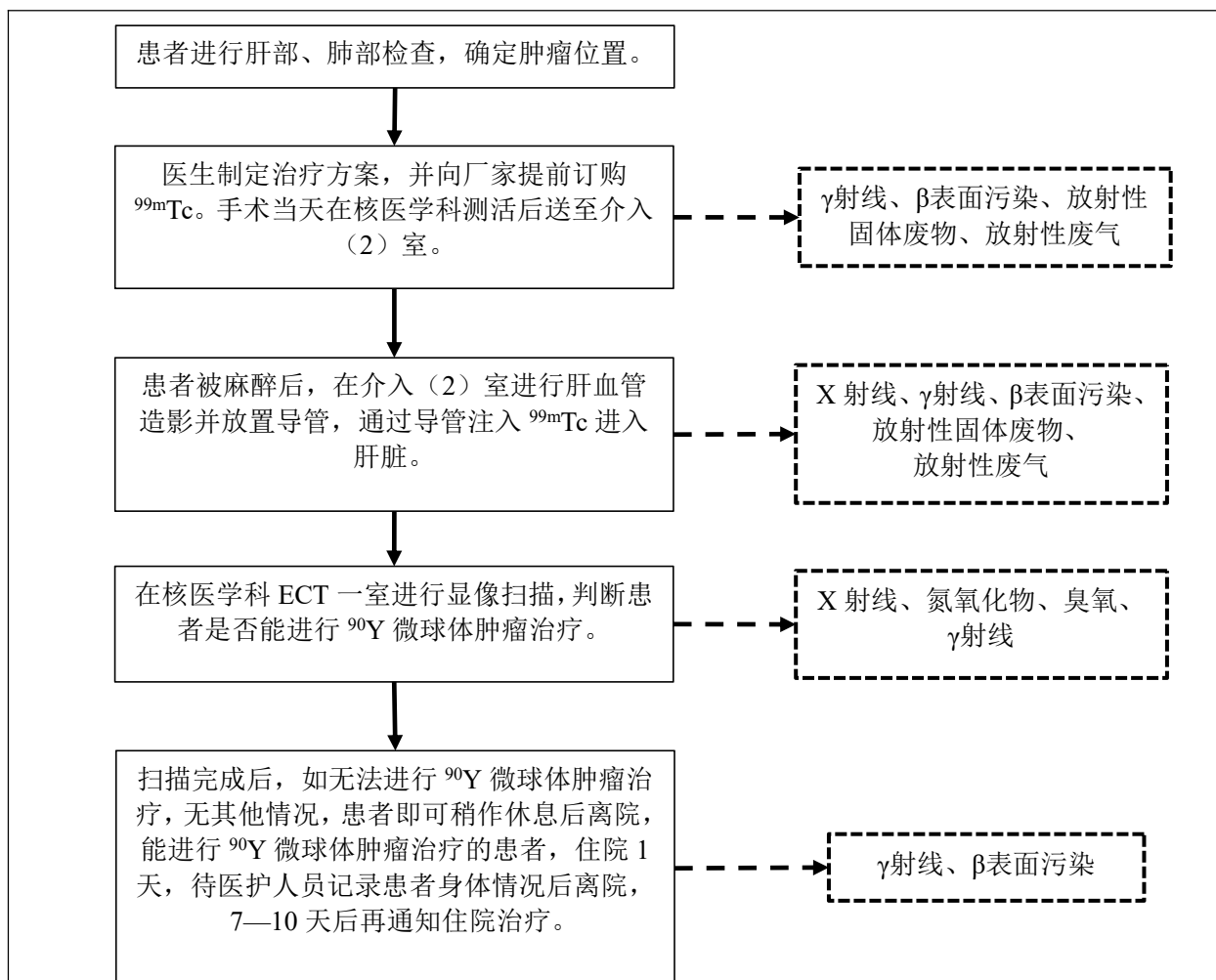


图 9-4 ⁹⁰Y 肿瘤治疗第一阶段工作流程及产污环节分析示意图

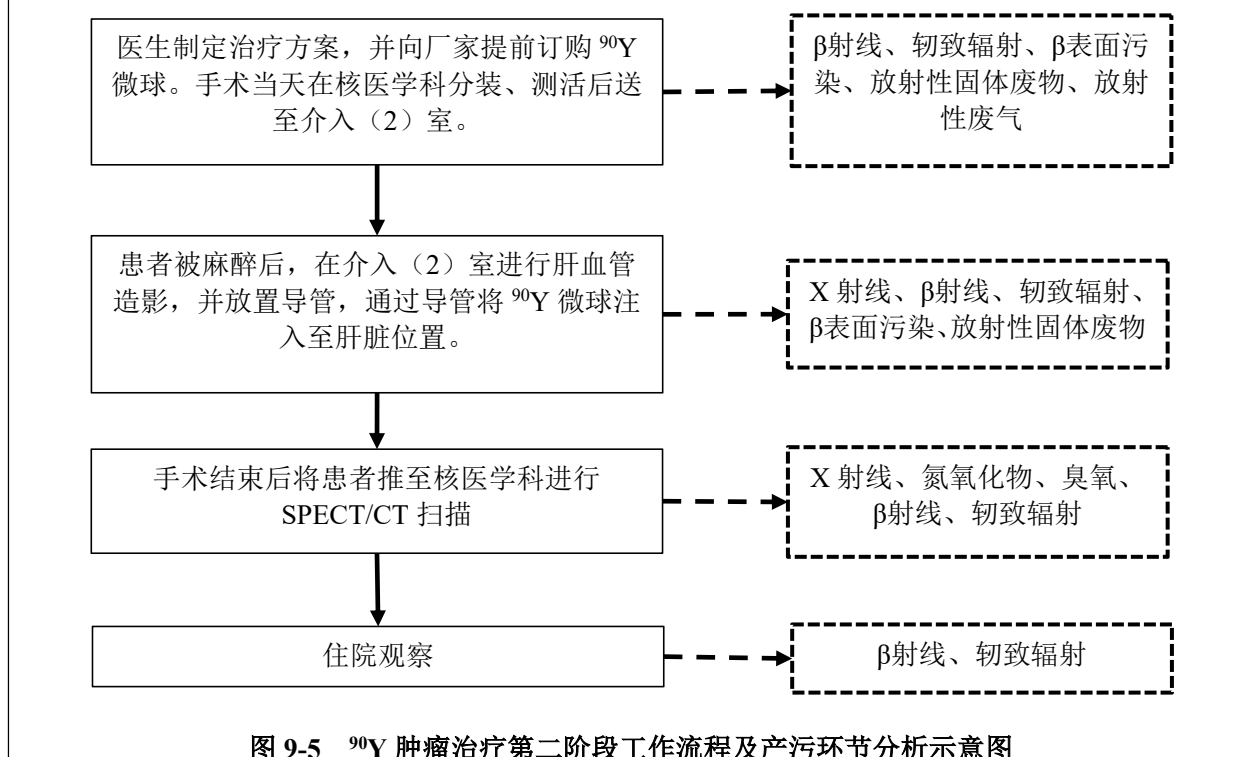


图 9-5 ⁹⁰Y 肿瘤治疗第二阶段工作流程及产污环节分析示意图

9.1.3 人员、物流路径规划

本项目与核医学科原有项目采用错峰开展的方式进行，因此不与核医学科原有项目路径存在交叉，医院核医学科原有项目已履行生态环境影响评价及竣工环境保护验收手续，因此本次评价不再对原有项目相关路线进行介绍。

①患者路径

患者根据医嘱在规定的时间内，到达1号楼2层介入（2）室缓冲区门口，然后从介入（2）室东侧防护门进入介入（2）室，在DSA介入引导下接受Tc-99m输注，输注后患者由东侧防护门离开，沿走廊到6#电梯口至核医学科，沿患者通道进入ECT一室进行SPECT/CT扫描，以判断该患者是否适合Y-90微球治疗，扫描完成后由受检者通道专用出口离开核医学科。患者转移使用的电梯设置相应的措施防止其他人员共用。

确认可接受Y-90微球治疗的患者根据医嘱在规定的时间内，到达1号楼2层介入（2）室缓冲区门口，然后从介入（2）室东侧防护门进入介入（2）室，在DSA介入引导下接受Y-90微球输注，输注后患者由东侧防护门离开，沿走廊到6#电梯口至核医学科，沿患者通道进入ECT一室进行SPECT/CT扫描，扫描完成后由北侧离开核医学科；然后乘坐6#电梯至1号楼3层，沿1号楼3层西侧连廊进入7号楼，然后由11#手术专用电梯至7号楼16层肝胆胰外科二病区Y-90患者专用病房住院。患者转移使用的电梯设置相应的措施防止其他人员共用。

接受输注后的患者转移一般在手术当天其他工作人员未上班或人员休息时等人员较少的时间段进行，转运过程中，患者和转运人员均佩戴铅衣，转运过程由2名介入放射工作人员负责，一人负责推送，一人提前进行路线清场，以避免公众受到不必要的照射。项目接受输注后的患者行进路线均为室内走廊，避开了所在建筑物的正门和大厅，周围无食堂、超市等人流密集区域，亦无儿科、妇产科等敏感科室，符合要求。

②工作人员路径

DSA操作人员从更衣室进入操作区进行设备操作；手术人员从更衣室进入操作区，然后进入介入（2）室进行手术，工作结束后，在洗手间进行表面污染检测，若发生污染则进行去污工作，去污产生的放射性固废单独收集，确认未受放射污染后从洗手间离开。项目设计的工作人员通道与患者通道不交叉，能够满足相互独立的要求。

③药物路径

根据预约情况，供药单位将Tc-99m，Y-90微球送入核医学科分装注射室，工作人

员核对后与供药公司办理交接手续并存档，Y-90 微球和 Tc-99m 存放在分装注射室通风橱（锔）内。

Tc-99m、Y-90 微球由核医学科人员分装好后，由介入工作人员从分装注射室取出，然后往受检者通道进入 6 号电梯，到达 1 号楼 2 层，沿走廊到介入（2）室缓冲区，再由介入室（2）东侧防护门进入介入室（2）。

Tc-99m、Y-90 微球的运送一般在手术当天其他工作人员未上班或人员休息时等人员较少的时间段进行，以避免公众受到不必要的照射。

④废物路径

放射性药品在核医学科分装过程中会产生少量放射性固体废物（如一次性吸水纸、手套等），分装注射室内设专用铅废物桶用于放射性固废的收集，并定期送至核医学科废物（锔）室暂存。介入（2）室工作过程中产生的放射性废物在工作结束后由专人统一收集，标明核素种类、收集时间并经缓冲区经6#电梯运至核医学科废物（锔）室暂存。Y-90放射性固体废物和Tc-99m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 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

该项目患者进出路线、工作人员进出路线及药物路线、废物路线见图 9-6～图 9-9。本项目注射药物后患者路线、核医学科送药至介入（2）室药物路线、介入（2）室废物路线存在交叉，但这三者路线时间上是错开的，在采用时间错峰方式下，该项目工作场所布局合理。

9.1.4 劳动定员和工作负荷

（一）劳动定员

根据医院提供的资料和Y-90微球治疗流程，本项目依托介入科现有6名辐射工作人员，负责药物和患者转运、介入室内输注及控制室DSA进行操作；核医学科6名辐射工作人员，负责药物准备、药物接收、SPECT扫描及患者摆位；肝胆外科4名辐射工作人员，负责 ^{90}Y 患者护理；本项目不额外新增辐射工作人员。

（二）工作负荷

根据医院提供的资料，本项目 Y-90 微球治疗预期最大收治**人次/天，**人次/周，**人次/年。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 术前评估每天最大患者数**人，每周最大患者数**人，每年工作**周，每年术前评估最大患者数**人。

Y-90 药物在核医学科分装注射室药物抽取、活度测量时间为**min/人次，Tc-99m 药物在核医学科分装注射室分装、活度测量时间为**min/人次。Y-90 药物接收至核医学科时间为**min/次。Y-90 药物由 1 号楼 4 层核医学科转运至 1 号楼 2 层介入导管室介入(2)室约**min/次；Y-90 药物输注一个病人约**min/人；Y-90 患者由介入导管室介入(2)室转移至 1 号楼 4 层核医学科 ECT（一）室约**min/次；Y-90 患者由 1 号楼 4 层核医学科 ECT（一）室转移至 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区 ⁹⁰Y 患者专用病房约**min/次；Y-90 住院病人护理约**min/人。

Tc-99m 药物由 1 号楼 4 层核医学科转移至 1 号楼 2 层介入导管室介入(2)室约**min/次，Tc-99m 药物接收至核医学科时间为**min/次。Tc-99m 药物输注一个病人约**min/人；Tc-99m 患者由 1 号楼 2 层介入导管室介入(2)室转移至 1 号楼 4 层核医学科 ECT（一）室约**min/次。介入导管室介入(2)室内 Tc-99m 术前评估阶段透视时间**min/人，减影时间**min/人；Y-90 微球治疗阶段透视时间**min/人，减影时间**min/人。

Y-90、Tc-99m 患者在 ECT 一室扫描检查时间为**min/次，摆位时间为**min/次。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期的污染源项

本项目利用现有 1 号楼 4 层核医学科、1 号楼 2 层介入导管室介入(2)室、7 号楼 16 层东南侧床号 01~03、04~06 两间病房开展 Y-90 治疗，本项目基本无需施工，无施工期污染。

9.2.2 运行期的污染源项

（一）正常工况

本项目影响因子为X射线、β表面污染、β射线、韧致辐射、放射性固体废物、放射性废水。

（1）X射线、β表面污染、β射线、韧致辐射、γ射线辐射

钇-90 微球治疗项目治疗流程涉及使用 DSA 引导介入注射和 SPECT/CT 扫描，正常运行情况下，射线装置将产生 X 射线，运行时产生的 X 射线随设备的开、关而产生和消失。

放射性核素输注进入患者体内，分布到特定器官并主要产生β射线。β粒子能被体外衣服消减、阻挡或一张几毫米厚的铝箔完全阻挡。本项目辐射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，因此β射线对本项目放射工作人员的影响较小。

但β射线被放射源本身以及源周围的其他物质阻止时产生韧致辐射，韧致辐射会对周围环境产生辐射影响，本项目考虑韧致辐射影响。

β表面污染：本项目的辐射工作人员在药物输注环节，可能会洒落药物，对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成局部放射性β表面污染。

γ射线辐射：本项目Tc-99m衰变过程中会产生γ射线，Tc-99m核素院内运输和1号楼2层介入导管室介入（2）室内使用过程中会对局部环境产生γ射线外照射。

（2）放射性固体废物

医院使用Y-90微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括输注Tc-99m放射性药物产生的一次性手套、注射器、输液管、患者体内管等，总重量**g/例；输注Y-90药物产生的一次性手套、注射器、输液管、患者体内导管、V瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物合计约**g/例。开展一次Y-90微球介入治疗产生放射性固体废物约**kg。

（3）放射性废水

本项目放射性废水主要为注射Y-90后患者的排泄物，根据报告“表11 环境影响分析”章节有关内容，注射Y-90后患者的排泄物可直接排放。

（4）放射性废气

^{99m}Tc-MAA为液体，不属于挥发性核素。输注时，药物均在密闭容器中，不会挥发，无放射性气体产生。本项目Y-90微球位于药物容器或注射器内，治疗时药物通过输注装置注入患者体内，全过程Y-90微球不暴露在空气且Y-90微球为悬浮液，悬浮溶液为无菌水，无挥发性。本项目介入（2）室基本无放射性废气产生。

（二）非正常运行状态下污染途径分析

（1）由于管理不善，放射性药物被盗、丢失。

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

（3）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

（4）DSA机控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。

（5）使用DSA的医生或护士在DSA机房内曝光时未穿戴铅围裙、防护手套、防护帽和防护眼镜等防护用具，而受到超剂量外照射。

（6）工作人员未按要求给转运患者穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

（7）人员误入射线装置正在出束的辐射工作场所，受到意外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

一、工作场所布局

本项目介入（2）室位于1号楼2层介入导管室，介入（2）室东侧为缓冲区，南侧为介入导管室介入（1）室及其操作室，西侧为介入导管室介入（2）室操作区，北侧为设备间及更衣室，楼上为彩超检查室，楼下为摄片室（2）和过道。

本项目核医学科位于1号楼4层，主要设置ECT一室、ECT二室、ECT三室、分装注射室、运动负荷室及抢救室、注射后等候室、检查后休息室、甲状腺癌治疗病房（一）、甲状腺癌治疗病房（二）等功能用房。核医学科楼上为重症医学科，楼下为病理科。

本项目两间 Y-90 患者专用病房位于 7 号楼 16 层东南侧。两间 Y-90 患者专用病房东侧、南侧临空，西侧为 07~08 床病房，北侧为过道，楼上为普通外科一病区病房（01~03、05 床），楼下为肝胆胰外科一病区病房（01~06 床）。

本项目辐射工作场所不毗邻产科、儿科和食堂等部门，同时避开了医院内人流量较大的住院区域、门诊大厅区域，辐射工作场所实体屏蔽防护墙体边界外周围 50m 评价范围内均位于医院内，工作场所布局合理。

二、控制区和监督区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，为了便于辐射防护管理和职业照射控制，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，将辐射工作场所分为控制区和监督区。

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

监督区：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。

根据分区原则，本项目辐射工作场所分区情况如下：

（1）控制区划分

将 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室、介入（1）室（原有辐射场所）划为控制区；将 ECT 一室、ECT 二室、ECT 三室、受检通道、检查后休息室、注射后等候室、废物（锝）室、废物（碘）室、运动负荷室及抢救室、分装注射室、锝通气室、注射室、碘给药室、被服间、甲状腺癌治疗病房（一）、（二）等划为控制区。将 7 号楼 16 层肝胆

胰外科二病区两间 Y-90 患者专用病房划为控制区。

（2）监督区划分

将介入（2）室东侧的缓冲区、南侧的介入（1）操作室、西侧的介入（2）室操作区、北侧的更衣室及设备间划为监督区；将核医学科护士站、候诊区、医护通道、更衣室、缓冲区、卫生间划为监督区。将 Y-90 患者专用病房西侧 07~08 床病房、北侧过道划为监督区。

核医学科及介入（2）室控制区、监督区入口标志已设置，ECT 一室及介入（2）室防护门上方已设置电离辐射警告标志；医院拟在 Y-90 患者专用病房门上方设置电离辐射警告标志，在机房门外 1m 用黄色警戒线画出，提醒无关人员进入，并定期检查其辐射水平。

三、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 非密封源工作场所的分级规定，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。由《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）可知，本评价项目的核医学科使用的各放射性核素的毒性组别修正因子、操作方式修正因子、日实际操作量和日等效操作量见表 10-1。

表 10-1 核医学科使用的放射性核素日等效最大操作量计算一览表

位置	核素名称	日实际最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）
1 号楼 4 层核医学科	⁹⁰ Y	1.2E+10	中毒，0.1	很简单操作，10	1.2E+8
	Tc-99m	7.4E+8	低毒，0.01	很简单操作，10	7.4E+5
注：Y-90 和 Tc-99m 不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。					
1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室	⁹⁰ Y	1.2E+10	中毒，0.1	很简单操作，10	1.2E+8
	Tc-99m	7.4E+8	低毒，0.01	很简单操作，10	7.4E+5
	注：Y-90 和 Tc-99m 不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。				

本项目 1 号楼 4 层核医学科现有核素日等效最大操作量为 2.54E+9Bq，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 Y-90 核素和 Tc-99m 核素用量后核素日等效最大操作量为 2.66E+9Bq；1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室日等效最大操作量为 1.2E+8Bq，均在 $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ Bq 之间，均属于乙级非密封源工作场所。

五、辐射防护屏蔽设计

（一）工作场所辐射防护设计

本项目辐射工作场所均为利旧场所，沿用既有的屏蔽防护工程未做调整。根据医院提供的资料，辐射工作场所既有的屏蔽防护设施如表 10-2。

表 10-2 本项目放射工作场所采取的屏蔽防护设施一览表

序号	工作场所		屏蔽体	屏蔽材料及厚度
1	核医学科	分装 注射室	四周墙体	**
			顶板	**
			地板	**
			防护门	**
			铅通风橱	**
		ECT 一室	四周墙体	**
			顶板	**
			地板	**
			防护门	**
			观察窗	**
2	1 号楼 2 层介入导管室 介入（2）室		四周墙体	**
			顶板	**
			地板	**
			防护门	**
			观察窗	**
3	Y-90 患者专用病房		西、北墙体	**
			东侧、南侧墙体	**
			顶板	**
			地板	**
			门	**

（二）防护设施和个人防护用品

本项目辐射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对相关防护设施和个人防护用品进行补充，具体配备情况见表 10-3。

表 10-3 本项目防护设施和个人防护用品配备情况一览表

工作场所	防护设施名称	参数	数量（个/件）	备注
核医学科	钨通风橱	**	**	原有
	注射台	**	**	
	防护罐	**	**	
	注射器防护套	**	**	
	钨废物桶	**	**	
	铅防护衣、铅防护眼镜、铅围脖、铅手套	**	**	
1号楼2层介入导管室介入（2）室	铅悬挂防护屏	**	**	原有
	铅防护吊帘	**	**	
	床侧防护屏	**	**	
	床侧防护帘	**	**	
	铅橡胶防护围裙	**	**	
	铅橡胶颈套	**	**	
	铅橡胶性腺防护围裙	**	**	
	铅橡胶方巾	**	**	
	移动铅屏风	**	**	
	V 瓶支架	**	**	新增
	放射性污染防护服	**	**	
	注射器铅防护套筒	**	**	
	转运屏蔽容器	**	**	
	贮源屏蔽容器	**	**	
	注射器有机玻璃防护套	**	**	
	Nalgene 亚克力转运桶	**	**	
	输液箱	**	**	
	有机玻璃废物桶	**	**	
	可移动的放射性废物桶	**	**	
	长柄钳	**	**	
	一次性防水手套、口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布和一次性镊子、吸水纸、吸水垫、托盘。	**	**	

两间 Y-90 患者专用病房	铅橡胶围裙、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶方巾	**	**	
	铅橡胶衣	**	**	
	隔离铅屏风	**	**	
	乳胶手套	**	**	
	铅废物桶	**	**	

六、工作场所辐射安全和防护措施

(1) 工作场所表面污染防治

本项目1号楼2层介入导管室介入(2)室的墙面和地面采用易清洗且不易渗透的材料,涉及药物操作的工作台设计平整、光滑、易于清洗。墙面与地面连接转角处采取弧形处理,以尽可能减少表面污染。

本项目1号楼2层介入导管室介入(2)室在Y-90微球治疗前,在介入治疗床和附近地面铺设吸水垫,防止药物泄漏造成污染。使用过的吸水垫经表面污染检测后,有放射性污染的按固体放射性废物处置,未污染的按普通医疗废物处置。

(2) 工作人员的防护措施

工作人员进入1号楼2层介入导管室介入(2)室前于更衣室更换服装,并穿戴工作衣、鞋及佩戴铅橡胶颈套、铅帽等防护用品。1号楼2层介入导管室介入(2)室西侧洗手间设置感应式洗手盆(池)、去污套装等清洗和去污设备。工作人员离开辐射工作场所时,需对手部等体表部位进行污染测定,确认未受放射污染,方可离开,如果检测受污染,则采用酒精湿巾进行擦拭,擦拭后的湿巾作为放射性固体废物。

(3) 语音通话系统

1 号楼 2 层介入导管室介入(2)室和 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区 Y-90 患者专用病房内设置语音对讲装置。此外, Y-90 患者专用病房拟设置监控、门禁管理系统。

(4) 电离辐射警示标识和工作状态指示灯

1 号楼 2 层介入导管室介入(2)室病人进出防护门上方设置有工作状态指示灯,灯箱处设置“射线有害,灯亮勿入”字样的警示语句,并与受检者防护门有效关联。介入(2)室入口防护门设置符合标准要求的电离辐射警告标志,且在候诊区设置放射防护注意事项。拟在 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区 Y-90 患者专用病房内设置放射防护注意事项。

(5) 去污用品(存放于介入(2)室西侧洗手间)

为应对放射性核素污染的应急处理，建设单位拟为本项目配备以下用品：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、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子等。

（6）辐射监测仪器

本项目核医学科已配备辐射剂量率仪和表面污染仪，介入室已配备辐射剂量率仪。医院拟为本项目新增 1 台辐射剂量率仪（Y-90 患者专用病房）以及 2 台表面污染仪（放置于介入（2）室洗手间、Y-90 患者专用病房）。

（7）放射性核素操作管理要求

①放射性核素（Y-90 和 Tc-99m）输注过程中采取措施（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。

②介入输注完放射性核素后，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微导管从普通导管中移出，经包裹处理后放入带屏蔽的固体放射性废物桶内。

③DSA 工作场所配备表面污染监测仪，每次手术结束后对手术床、工作台面、工作椅、地面等区域进行表面污染监测，确保辐射工作场所的表面污染水平低于控制标准；如表面污染水平超出控制标准，采取相应的去污措施，如擦拭。

④如果发生放射性核素洒落而发生污染，将封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所去污和人员应急处理。

（8）患者转移管理

①患者转运至 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室显像过程中或 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区 Y-90 患者专用病房，在患者右上腹部肝区体表铺设 0.5mmPb 的方巾；

②移动患者时尽量避开人员较为集中的时段，快速、平稳地将患者送至 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区 Y-90 患者专用病房；

③提醒患者家属注意与患者保持距离，尽量减少与患者近距离接触的时间。医护人员特殊情况需要护理时，与患者保持 1m 以上的距离；

④留观护理人员可通过视频监控严密注意 Y-90 患者专用病房患者动向，并在 Y-90 患者专用病房门口悬挂专用病房标志，且设置门禁，严禁无关人员进入该病房。

（9）患者住院期间及离院前管理

①患者住院期间，陪护者、探视者宜与患者保持 1m 以上的距离。

②对住院患者近距离护理时，在患者右上腹部肝区体表铺设 0.5 mmPb 的方巾，护理人员穿戴不小于 0.5mmPb 的个人防护用品。住院期间，两名患者床中间放置移动铅屏风。

③患者离院前，医疗机构应履行放射防护告知义务，告知患者对家庭成员及周围公众可能产生的照射风险。患者出院后，1 周内尽量与其他人员保持 1m 以上距离，避免近距离接触孕妇和婴幼儿。患者在 Y-90 患者专用病房需住院观察 17 小时后，方可出院。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射治疗患者出院时体内放射性活度的要求，对于使用 ^{90}Y 核素的患者，患者出院时体内放射性活度要求不大于 2.5GBq。本项目中患者输注 ^{90}Y 核素的最大活度为 3.0GBq，根据核素衰变规律， ^{90}Y 核素经 17 小时后，衰变后得活度将低于 2.5GBq。

（10）放射性核素院内运输管理

①放射性核素（Y-90 和 Tc-99m）院内运输时应放置于专用小推车内，专用小推车外表面应张贴电离辐射警告标志和注意事项。

②放射性核素院内运输应按照规划的路线，尽量避开人员较为集中的时段，快速、平稳地将核素运至介入（2）室。

③放射性核素接收和送达均应进行登记，详细记录接收人员、接收时间、接收核素种类、送达人员、送达时间、送达核素种类。

④放射性核素院内运输时工作人员随身携带应急防护用品，应急防护用品应包括：警戒线、辐射剂量率仪、表面污染仪和表面污染去污用品。

七、辐射防护措施符合性分析

本项目所采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的符合情况见表 10-4。

表 10-4 项目采取的辐射安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）符合情况对照表

序号	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求	本项目采取的辐射安全防护措施和设施	符合情况
1	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。	本项目利用介入（2）室，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。在采取错峰管理，本项目介入（2）室人流、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。放射性药物和放射性废物运送通道通过电梯，路径较短捷。输注药物后患者转移与公众尽量避开。	符合
2	核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	本项目在介入（2）室西侧洗手间设置一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂/或喷雾、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、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、表面污染仪等。 本项目 Y-90 微球治疗项目过程中患者处于麻醉状态，患者不排泄。注射 Tc-99m 后患者离开，不在介入室排泄。	符合
3	放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。	本项目 ^{90}Y 使用前暂存于 1 号楼 4 层核医学科分装注射室铅通风橱内，通风橱设置有铅屏蔽。	符合
4	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缝隙，易于清洗、去污。	本项目依托的核医学科工作场所放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无缝隙，易于清洗、去污。介入（2）室地面与墙壁衔接处无缝隙，易于清洗、去污。 Y-90 病房地面光滑，易于清洗。	符合
5	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。	介入（2）室为工作人员配备铅橡胶防护围裙 15 套，铅橡胶颈套 12 套。为患者配备铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶方巾各 1 套，铅当量为 0.5mm。 两间 Y-90 患者专用病房配备铅橡胶围裙、铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶方巾共 8 套，铅橡胶衣 4 套，铅当量均为 0.5mm Pb。	符合
6	操作放射性药物的控制区出口应配有	本项目在介入（2）室西侧洗手间设	符合

	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。	置一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂/或喷雾、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔、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、表面污染仪等。从介入（2）室控制区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。	
7	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，一般按需求订购，集中使用，不专门贮存，购买后使用前暂存于1号楼4层核医学科分装注射室通风橱内。贮存的放射性物质拟建立台账，及时登记，确保账物相符。	符合
8	应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	现有核医学科配备有通风橱。医院拟配备1个Nalgene亚克力转运桶，在转运桶上设置电离辐射警告标志，拟在介入（2）室设置一个可移动的放射性废物桶。	符合

根据表 10-4，本项目钇-90 微球治疗项目工作场所满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求。

10.2 三废的治理

（一）废气

①本项目Y-90微球不具备挥发性，操作过程不涉及加热，且Y-90微球密闭在容器中，正确操作情况下，不会产生放射性废气。

②^{99m}Tc-MAA为液体，不属于挥发性核素，输注时，药物均在密闭容器中，不会挥发，无放射性废气产生。

③DSA运行时产生的少量氮氧化物和臭氧，通过1号楼2层介入导管室介入（2）室内设置的通风系统进行通风换气，工作时均开启，防止介入（2）室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。

④SPECT/CT 运行时产生的少量氮氧化物和臭氧，通过排风系统排至1号楼屋顶。

（二）固体废物

医院使用Y-90微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括输注Tc-99m放射性药物产

生的一次性手套、注射器、输液管、患者体内管等，总重量**g/例；输注Y-90放射性药物产生的一次性手套、注射器、输液管、患者体内导管、V瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物合计约**g/例。每年产生放射性固体废物约**kg。

本项目放射性药品在1号楼4层核医学科分装过程中会产生少量放射性固体废物（如一次性吸水纸、手套等），分装注射室内设专用铅废物桶用于放射性固废的收集，并定期送至核医学科废物（锝）室暂存。本项目产生的固体废物由介入科护士转运至1号楼4层核医学科，并依托核医学科废物（锝）室进行暂存。Y-90放射性固体废物和Tc-99m放射性固体废物使用不同的放射性废物桶分开收集、处置。放射性废物桶按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），张贴电离辐射警告标志、设置标签，标注废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等。放射性废物桶内设置专用塑料袋进行收纳，对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，再装入塑料袋内。每袋重量不超过**kg。核医学科已建立放射性固体废物收集、贮存、排放管理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、种类、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息，做好记录并存档备案。

Y-90放射性固体废物和Tc-99m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 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

本项目依托的核医学科废物（锝）室设置有通风换气装置，入口处设置有电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏 等措施。设置有专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

（三）废水

Y-90 和 Tc-99m 在介入（2）室介入注射过程中正常情况不产生放射性废水，患者注射 Y-90 和 Tc-99m 药物过程中不排泄。事故情况下发生核素泄漏时，使用一次性抹布等进行多次擦拭，不用水进行冲洗，不产生放射性废水。本项目放射性废水主要为留观病人产生的排泄物，Y-90 微球不溶于末梢血管，不排出体外。尿液中不含有载药微球，但含有极低 Y-90 核素的活度浓度。根据报告“表 11 环境影响分析”章节分析，患者排泄物中 Y-90 核素单次排放活度和月排放总活度均低于 GB18871-2002 中相应要求，因此患者尿液可以直接排放。

10.3 环保投资

项目总投资为**万元，其中环保投资为**万元，占总投资的**%。环保投资情况见表10-5。

表 10-5 环保投资情况一览表

项目		环保投资金额（万元）	
Y-90 微球 治疗项目	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、Y-90 患者专用病房隔离铅屏风。	**	合计： **
	配备 1 台辐射剂量率仪、2 台表面污染仪。	**	
	生态环境影响评价、竣工环保验收和年度监测费用等。	**	
	Y-90 患者专用病房对讲装置、监控、门禁管理系统。	**	

注：其他屏蔽防护用品和措施依托原有，不计入本次环保投资。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境影响

本项目利用现有 1 号楼 4 层核医学科、1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室、7 号楼 16 层东南侧床号 01~03、04~06 两间病房开展 Y-90 治疗。现有 1 号楼 4 层核医学科、1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室、7 号楼 16 层东南侧床号 01~03、04~06 两间病房施工期均已完成，无施工期遗留环境问题。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本项目运行过程中使用 Tc-99m 和 Y-90，同时配套使用 DSA 和 SPECT/CT 机，本项目主要考虑核素 Tc-99m 衰变产生的γ射线、Y-90 衰变放出β射线及其韧致辐射产生的 X 射线，DSA 及 SPECT/CT 运行时 X 射线影响。

一、辐射源源强

表 11-1 本项目 Y-90 微球治疗辐射源源强一览表

场所	核素种类	单次最大用量（Bq）	人次/天	人次/周	人/年
1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室	Y-90	3×10 ⁹	4 人	8 人	400 人
	Tc-99m	1.85×10 ⁸	8 人	16 人	800 人

二、预测模式

（1）β粒子射程

根据《辐射安全手册》（潘自强主编）P108给出β粒子射程如下：

β粒子在空气中的射程R_{air}：

$$R_{air} \approx 3.656m / MeV \dots\dots\dots \text{公式 (11-1)}$$

0.01≤E_{max}≤2.5MeV，β粒子在物质中的射程R（g/cm²）：

$$R = 0.412E_{max}^{1.265-0.0954\ln E_{max}} \dots\dots\dots \text{公式 (11-2)}$$

（2）β粒子产生的韧致辐射剂量率

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

$$H = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z_e \times (\frac{E_b}{r})^2 \times (\frac{\mu_{en}}{\rho}) \dots\dots\dots \text{公式 (11-3)}$$

式中：H—屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在 r（m）处空气中的吸收剂量率，Gy/h；
A—放射源活度（Bq）；

E_b — β 粒子韧致辐射光子平均能量 (MeV)；

Z_c —屏蔽材料的有效原子系数；

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg 。

(3) γ 射线辐射剂量率

参照《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 附录 I, Tc-99m 核素 γ 辐射剂量率计算公式如下：

$$H = \frac{10^{-X/TVL} \times A \times \Gamma}{r^2} \dots\dots\dots \text{公式 (11-4)}$$

式中： H —屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时 ($\mu Sv/h$)；

X —屏蔽厚度，单位为毫米 (mm)；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，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 $\mu Sv \cdot m^2/MBq \cdot h$ ；

r —参考点与放射源间的距离，单位为米 (m)。

(4) 关注点辐射剂量率

$$H_\gamma = \frac{H_0 \times 10^{-d/TVL}}{r^2} \dots\dots\dots \text{公式 (11-5)}$$

式中： H_γ —关注点的 γ 剂量率 $\mu Sv/h$ ；

H_0 —距靶 1m 处的 γ 剂量率 $\mu Sv/h$ ；

r —关注点距源中心的距离，m；

d —屏蔽厚度，cm；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米 (mm)。

三、Y-90 辐射环境影响分析

(一) β 射线辐射影响分析

由公式 (11-1)、(11-2) 可得，Y-90 发射的 β 粒子在空气中和物质中的射程计算方法。考虑到人体软组织的有效原子序数、原子量与水很相近，因此软组织采用等效数据。表 11-2 给出了 Y-90 核素发射的 β 粒子在不同物质中的射程计算结果。

表 11-2 Y-90 核素发射的 β 粒子在不同物质中的射程

序号	材料	有效原子序数	密度 ρ , g/cm^3	射程 (cm)
1	空气	**	**	**
2	普通玻璃	**	**	**
3	有机玻璃	**	**	**

4	铅	**	**	**
5	水	**	**	**

根据 Y-90 微球治疗工艺流程可知，转运（V 型瓶防护+Nalgene 亚克力转运桶，18+10mm 有机玻璃）、输注（V 型瓶防护+传输系统防护，18+15mm 有机玻璃），输注后患者身体屏蔽（考虑到人体软组织的有效原子序数、原子量与水很相近，因此软组织采用等效数据）。根据表 11-2 可知， β 射线在各介质中的射程均小于屏蔽体的厚度，因此 β 射线对周围辐射环境影响很小。

（二）辐射剂量率辐射影响分析

（1）韧致辐射剂量率水平

根据公式 11-3，有机玻璃、空气和人体的韧致辐射 1m 处剂量率估算结果见表 11-3。

表 11-3 Y-90 在不同屏蔽材料 1m 处韧致辐射的吸收剂量率

放射源活度 A (Bq)	有效原子系数 Z_e	平均能量 $E_b(\text{MeV})$	质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ (m^2/kg)	空气中的吸收剂量率 H ($\mu\text{Gy/h}$)
**	**	**	**	**
	**		**	**
	**		**	**

由表 11-3 的估算结果可知，Y-90 核素和患者运输、介入（2）室按** $\mu\text{Gy/h}$ 估算，每间 Y-90 专用病房辐射剂量率以** $\mu\text{Gy/h}$ 估算。

（2）辐射屏蔽计算关注点

根据 1 号楼 4 层核医学科工作场所防护年度检测报告可知，本项目利旧的核医学科通风橱表面 5cm 外和 30cm 外剂量率检测结果最大值均为** $\mu\text{Sv/h}$ ，ECT（一）室外 30cm 处剂量率检测结果最大值为** $\mu\text{Sv/h}$ ，分装注射室 30cm 处剂量率检测结果最大值为** $\mu\text{Sv/h}$ ；1 号楼 4 层核医学科工作场所辐射水平均符合标准要求。项目使用的放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，原已在核医学科使用，且此次病人体内放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的活度低于原核医学科患者注射药物最大量，因此本次环评不再考虑 Tc-99m 对核医学科工作场所的影响。

^{90}Y 为纯 β 核素， β 射线穿透能力远低于核医学科所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素产生的 γ 射线，仅考虑其韧致辐射的屏蔽。由表 11-3 可知，Y-90 在不同屏蔽材料 1m 处韧致辐射的吸收剂量率最大值为** $\mu\text{Gy/h}$ ，经 ECT 一室屏蔽体屏蔽后，对周围影响较小。分装注射室存放 4 人份药量，经通风橱 40mm 铅屏蔽后表面 30cm 的剂量率为** $\mu\text{Gy/h}$ ，1m 处的剂量率为** $\mu\text{Gy/h}$ ，经分装注射室屏蔽体屏蔽后，亦可满足本项目涉及的核素使用防护要求。因此本报告核算放射性核素 Tc-99m、Y-90 在介入（2）室使用时对机房外的辐射影响以及 Y-90 专用病房内注射了 Y-90 核素的患者对病房外的辐射影响。

综合考虑辐射安全和人员可到达等因素，确定关注点位置。关注点的距离均为从辐

射源（设辐射源在机房中间区域位置，距地 1m）到墙（或门）外表面 30cm 处的距离，室顶关注点距地面 1.0m 处，楼下关注点取距楼下地面高度 1.7m 处。介入（2）室内尺寸为 6.8m×8.232m，层高净高度为 2.99m，楼下层高为 2.99m，Y-90 患者专用病房室内尺寸为宽为 3.6m，长为 9m，层高净高度为 3.7m，楼下层高为 3.7m。偏保守考虑，距离并未考虑墙体厚度。

(3) ^{90}Y 辐射工作场所关注点位置辐射剂量率

根据公式 11-5, ^{90}Y 辐射工作场所关注点位置辐射剂量率见表 11-4。

表 11-4 关注点位置辐射剂量率

源强 H ₀ (μSv/h)	关注点位置		距离 (m)	屏蔽材料 与 厚度	TVL	⁹⁰ Y 贡献 辐射剂 量率 (μSv/h)	原有项目 贡献辐射 剂量率 (μSv/h)	关注点位 置辐射剂 量率 (μSv/h)
**	介入 (2) 室	东墙外 30cm (a)	**	**	**	**	**	**
		南墙外 30cm (b)	**	**		**	**	**
		西墙外 30cm (c)	**			**	**	**
		北墙外 30cm (d)	**			**	**	**
		观察窗外 30cm (e)	**			**	**	**
		控制室防护门 外 30cm (f)	**	**		**	**	**
		东侧防护门外 30cm (g)	**	**		**	**	**
		介入 (2) 室楼 上(距地面 1m)	**	**		**	**	**
		介入 (2) 室楼 下(距楼下地面 高度 1.7m)	**	**		**	**	**
		**	Y-90 患者 专用 病房	东墙外 30cm (A)		**	**	**
南墙外 30cm (B)	**			**	**	**	**	
西墙外 30cm (C)	**			**	**	**	**	
北墙外 30cm (D)	**				**	**	**	
病房门外 30cm (E)	**			**	**	**	**	
病房楼上(距地 面 1m)	**			**	**	**	**	
病房楼下(距楼 下地面高度 1.7m)	**			**	**	**	**	

**	⁹⁰ Y—药物转运工作人	**	**		**	**	**
	⁹⁰ Y—药物转运公众人员	**	**		**	**	**
	⁹⁰ Y 患者转运工作人员	**	**		**	**	**
	⁹⁰ Y 患者转运公众人员	**	**		**	**	**
	⁹⁰ Y 药物输注工作人员	**	**		**	**	**
	⁹⁰ Y 住院患者护理工作	**	**		**	**	**
**	⁹⁰ Y 药物抽取、活度测量	**	**		**	**	**

(3) Tc-99m 辐射环境影响分析

本项目 Tc-99m 屏蔽计算参数见表 11-5。

表 11-5 屏蔽计算参数一览表

核素	A(Bq)	($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	TVL混凝土 (mm)	TVL铅 (mm)	TVL砖 (mm)
^{99m} Tc	**	**	**	**	**

根据公式11-4和表11-5，本项目Tc-99m辐射工作场所关注点位置辐射剂量率11-6。

表11-6 关注点位置辐射剂量率

关注点位置		距离 (m)	屏蔽材料与厚度	^{99m} Tc 贡献辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	原有项目贡献辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点位置辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
介入 (2) 室	东墙外 30cm (a)	**	**	**	**	**
	南墙外 30cm (b)	**		**	**	**
	西墙外 30cm (c)	**		**	**	**
	北墙外 30cm (d)	**		**	**	**
	观察窗外 30cm (e)	**	**	**	**	**
	控制室防护门外 30cm (f)	**	**	**	**	**
	东侧防护门外 30cm (g)	**	**	**	**	**
	介入 (2) 室楼上 (距地面 1m)	**	**	**	**	**
	介入 (2) 室楼下 (距楼下地面高度 1.7m)	**	**	**	**	**
^{99m} Tc 药物转运工作人员		**	**	**	**	**
^{99m} Tc 药物转运周围公众人员		**	**	**	**	**
^{99m} Tc 患者转运工作人员		**	**	**	**	**
^{99m} Tc 患者转运周围公众人员		**	**	**	**	**

^{99m} Tc 药物输注工作人员	**	**	**	**	**
^{99m} Tc 分装、活度测量 工作人员	**	**	**	**	**

根据表11-4和表11-6可知，本项目介入（2）室外关注点最大辐射剂量率为**μSv/h，同时满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h”和《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，机房周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h”的标准要求。

根据表 11-4，本项目 Y-90 患者专用病房外 30cm 最大辐射剂量率为**μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h”的标准要求。

11.2.2 职业工作人员和公众年有效剂量评价

（一）估算模式

γ外照射致人员剂量估算，按照《UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly,with Scientific Annexes》附录 A 公式计算。

$$H_{\gamma} = D_{\gamma} \cdot T \cdot t \cdot 10^3 \dots\dots\dots \text{公式 (11-6)}$$

式中：H_γ——γ射线外照射人均年剂量，mSv；

D_γ——γ辐射剂量率，μSv/h；

T——居留因子，无量纲；

t——照射时间，h。

（二）工作人员工作负荷

根据医院提供的资料，本项目 Y-90 微球治疗预期最大收治**人次/天，**人次/周，**人次/年。^{99m}Tc 术前评估每天最大患者数**人，每周最大患者数**人，每年工作**周，每年术前评估最大患者数**人。

Y-90 药物在核医学科分装注射室药物抽取、活度测量时间为**min/人次，Tc-99m 药物在核医学科分装注射室分装、活度测量时间为**min/人次。Y-90 药物接收至核医学科时间为**min/次。

Y-90 药物由 1 号楼 4 层核医学科转运至 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室约**min/次；Y-90 药物输注一个病人约**min/人；Y-90 患者由介入导管室介入（2）室转移至 1 号楼 4 层

核医学科 ECT（一）室约**min/次；Y-90 患者由 1 号楼 4 层核医学科 ECT（一）室转移至 7 号楼 16 层肝胆胰外科二病区 ⁹⁰Y 患者专用病房约**min/次；Y-90 住院病人护理约**min/人。

Tc-99m 药物由 1 号楼 4 层核医学科转移至 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室约**min/次，Tc-99m 药物接收至核医学科时间为**min/次；Tc-99m 药物输注一个病人约**min/人；Tc-99m 患者由 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室转移至 1 号楼 4 层核医学科 ECT（一）室约**min/次。介入导管室介入（2）室内 Tc-99m 术前评估阶段透视时间**min/人，减影时间**min/人；Y-90 微球治疗阶段透视时间**min/人，减影时间**min/人。Y-90、Tc-99m 患者在 ECT 一室扫描检查时间为**min/次，摆位时间为**min/次。

⁹⁰Y 和 ^{99m}Tc 药物和患者转运均由介入科工作人员负责；⁹⁰Y 和 ^{99m}Tc 输注均由介入科工作人员进行；⁹⁰Y 住院患者的护理工作由肝胆外科工作人员进行。

表 11-7 本项目工作负荷一览表

工作人员	关注环节	每天操作时间	天数	年总时间	
药物准备人员、 药物接收、扫描	Y-90 药物抽取、活度测量	**	**	**	**
	Tc-99m 分装、活度测量	**	**	**	
	Y-90 药物接收	**	**	**	
	Tc-99m 药物接收	**	**	**	
	Y-90 患者摆位	**	**	**	
	Y-90 患者扫描	**	**	**	
	Tc-99m 患者摆位	**	**	**	
	Tc-99m 患者扫描	**	**	**	
转运人员	⁹⁰ Y 药物转运	**	**	**	**
	⁹⁰ Y 患者转运	**	**	**	
	^{99m} Tc 药物转运	**	**	**	
	^{99m} Tc 患者转运	**	**	**	
输注人员	⁹⁰ Y 药物输注	**	**	**	**
	^{99m} Tc 药物输注	**	**	**	
	介入操作	**	**	**	
	减影	**	**	**	
护理人员	⁹⁰ Y 住院患者	**	**	**	**

（三）工作人员年有效剂量

根据表 11-4 和表 11-6 各关注点位置辐射剂量率，结合本项目工作负荷表 11-7，利用公式（11-6）估算项目工作人员年有效剂量情况见表 11-8。

表 11-8 Y-90 微球治疗贡献年有效剂量一览表

工作人员	关注环节	D _γ (μSv/h)	年工作时间 t	居留因子 T	Y-90 微球治疗贡献年有效剂量 (mSv/a)	
药物准备人员、 药物接	Y-90 药物抽取、 活度测量	**	**	**	**	**

	Tc-99m分装、活度测量	**	**	**	**	
	Y-90药物接收	**	**	**	**	
	Tc-99m药物接收	**	**	**	**	
	Y-90患者摆位	**	**	**	**	
	Y-90患者扫描	**	**	**	**	
	Tc-99m患者摆位	**	**	**	**	
	Tc-99m患者扫描	**	**	**	**	
转运人员 （介入人员）	⁹⁰ Y药物转运	**	**	**	**	**
	⁹⁰ Y患者转运	**	**	**	**	
	^{99m} Tc药物转运	**	**	**	**	
	^{99m} Tc患者转运	**	**	**	**	
机房内输注 人员及DSA 操作人员	⁹⁰ Y药物输注	**	**	**	**	**
	^{99m} Tc药物输注	**	**	**	**	
	介入操作	**	**	**	**	
	控制室操作	**	**	**	**	
护理人员	⁹⁰ Y住院患者	**	**	**	**	

注：*来自1号楼4层核医学科年度检测报告。

根据医院提供的资料和Y-90微球治疗流程，本项目依托介入科现有6名辐射工作人员、核医学科6名辐射工作人员，肝胆外科4名辐射工作人员，本项目不额外新增辐射工作人员。根据2024年12月12日—2025年12月6日个人剂量监测年度报告，个人剂量监测年度报告详见附件9，本项目依托的辐射工作人员年度有效剂量见表11-9。

表11-9 辐射工作人员DSA介入手术项目和原有核医学科贡献年有效剂量一览表

姓名	年有效剂量（mSv）
肝胆外科	
陈慧民	**
涂亮	**
刘建明	**
熊宇	**
核医学科	
陈盛优	**
丁婷婷	**
鲁铁华	**
王强	**
张红	**
张剑斌	**
介入科	
蔡阳芳	**
陈静	**
郭鹭鑫	**

江敏	**
苏迎新	**
周新华	**

根据表11-8和表11-9，本项目辐射工作人员合计年有效剂量见表11-10。

表 11-10 工作人员年有效剂量

工作人员	Y-90 微球治疗贡献年有效剂量 (mSv/a)	原有项目贡献年有效剂量 (mSv/a)	年有效剂量 (mSv/a)
药物准备人员、 药物接收、扫描	**	**	**
转运人员 (介入人员)	**	**	**
机房内输注人员及DSA操作人员	**		**
护理人员	**	**	**

根据表11-10，Y-90微球治疗项目运行后，本项目工作人员年剂量最大值为**mSv/a，本项目职业人员受到的年有效剂量满足《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，也低于本报告提出的剂量约束值（职业人员5mSv/a）。

（四）公众人员年有效剂量

根据表 11-4 和表 11-6 各关注点位置辐射剂量率，利用公式（11-6）估算项目公众人员年有效剂量情况见表 11-11。

表 11-11 本项目公众人员年有效剂量

关注点位置		D _γ (μSv/h)	年辐照时间 t	居留因子 T	年剂量 (mSv/a)		备注
介入（2） 室东侧缓冲 区	⁹⁰ Y 药物输注	**	**	**	**	**	**
	^{99m} Tc 药物输注	**	**		**		**
	介入操作及减影	**	**		**		**
介入（2） 室南侧介 入导管室 介入（1） 室	⁹⁰ Y 药物输注	**	**	**	**	**	**
	^{99m} Tc 药物输注	**	**		**		**
	介入操作及减影	**	**		**		**
介入（2） 室北侧设	⁹⁰ Y 药物输注	**	**	**	**	**	**
	^{99m} Tc 药物输注	**	**		**		**

	介入操作及减影	**	**		**		**
介入（2） 室楼上彩 超检查室	⁹⁰ Y 药物输注	**	**	**	**	**	**
	^{99m} Tc 药物输注	**	**		**		**
	介入操作及减影	**	**		**		**
介入（2） 室楼下摄 片室（2） 和过道	⁹⁰ Y 药物输注	**	**	**	**	**	**
	^{99m} Tc 药物输注	**	**		**		**
	介入操作及减影	**	**		**		**
Y-90 患者专用病房西侧病房 （07 和 08 床）		**	**	**	**		**
Y-90 患者专用病房北侧走廊		**	**	**	**		**
Y-90 患者专用病房楼上普通外 科一病区病房（01~03、05 床）		**	**	**	**		**
Y-90 患者专用病房楼下肝胆胰 外科一病区（1~6 床）		**	**	**	**		**
⁹⁰ Y 药物转运公众		**	**	**	**		**
⁹⁰ Y 患者转运公众		**	**	**	**		**
^{99m} Tc药物转运公众		**	**	**	**		**
^{99m} Tc患者转运公众		**	**	**	**		**

根据表 11-11，本项目公众人员年有效剂量最大值为**mSv/a，满足《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，也低于本报告提出的剂量约束值（公众人员 0.1mSv/a）。

11.2.3 运行期“三废”环境影响分析

（一）废气

①本项目Y-90微球不具备挥发性，操作过程不涉及加热，且Y-90微球密闭在容器中，正确操作情况下，不会产生放射性废气；②^{99m}Tc-MAA为液体，不属于挥发性核素。输注时，药物均在密闭容器中，不会挥发，无放射性废气产生；③DSA运行时产生的少量氮氧化物和臭氧，通过介入（2）室内设置的通风系统进行通风换气，工作时开启，防止介入（2）室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）废水

Y-90核素和Tc-99m核素在介入（2）室注射过程正常情况下不产生放射性废水，患者注射Y-90核素和Tc-99m核素过程中不排泄。事故情况发生核素泄漏时，使用一次性抹布等进行

多次擦拭，不用水进行冲洗，不产生放射性废水。本项目放射性废水主要为Y-90患者专用病房产生的排泄物。Y-90微球位于末梢血管，不排出体外。尿液中不含有载药微球，但含有极低Y-90核素的活度浓度。

Oliver.S.Grosser等人通过对进行了Y-90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Y-90核素含量见表11-12。

表11-12 注入Y-90微球后的患者48小时内尿液中Y-90核素含量

术后时间段	0~24h	24~48h
排尿量（mL）	**	**
尿液中总活度（kBq）	**	**

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 $10ALI_{min}$ （ 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。

表 11-13 放射性核素排放导出限值

核素名称	ALI_{min} 一次排放限值（Bq）	$10ALI_{min}$ 月排放限值（Bq）
Y-90	$7.41E+06$	$7.41E+07$

c) 患者在接受Y-90微球核素治疗后，0~24h每例患者尿液中Y-90核素总活度最大为**Bq，1天最大4个住院患者，Y-90核素总活度最大为**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**Bq的相关要求。本项目每月最多34例Y-90微球治疗手术，则每月排放总活度为**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**Bq的相关要求。患者产生的尿液每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ，患者产生的尿液可以直接排放，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。每次排放后应做记录并存档。

（三）固体废物

医院使用Y-90微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括输注Tc-99m放射性药物产生的一次性手套、注射器、输液管、患者体内管等，总重量**g/例；输注Y-90放射性药物产生的一次性手套、注射器、输液管、患者体内导管、V瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物合计约**g/例。每年产生放射性固体废物约**kg。

本项目产生的固体废物由介入科护士转运至核医学科，依托核医学科废物（锝）室进行暂存。Y-90放射性固体废物和Tc-99m放射性固体废物使用不同的放射性废物桶分开收集、处置。放射性废物桶按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），张贴电离辐射警告标志、设置标签，标注废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等。放射性废物桶设置专用塑料袋进行收纳，对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，再装入塑料袋内。每袋重量不超过20kg。核医学科已建立放射性固体废物收集、贮存、排放管理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、种类、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息，做好记录并存档备案。

Y-90放射性固体废物和Tc-99m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 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

11.3 辐射事故环境影响分析

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《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）要求，建设单位已编制《厦门大学附属中山医院辐射事故应急处置预案》。

（一）事故分析

1.由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面；放射性物质污染工作场所、衣物、手和皮肤，增加外照射危险程度，还有可能被食入或吸入体内形成内照射；

2.由于管理不善，发生放射性药物失窃，导致公众受照和环境受到辐射影响；

3.放射性药物院内转移过程中，药瓶塞子未塞紧或者铅废物桶倾覆，发生撒漏；

4.放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

（二）辐射事故后果计算

结合事故风险识别内容，建设单位可能发生最严重的事故为由于操作不慎，溢漏、撒泼放射性物质，污染工作台面和地面。如果发生放射性核素洒落而发生污染，应封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散。根据公式 11-5，人员穿戴 0.5mmPb 铅衣于 0.3m 处对污染场所进行表面去污时所受辐射剂量率为 $**\mu\text{Sv}/\text{h}$ （注：源强按 1m 处剂量率为 $**\mu\text{Sv}/\text{h}$ 计算），表面去污时长按 1h 计算，人员在事故状态下所受有效剂量为 $18.3\mu\text{Sv}$ ，未超过年剂量约束值 5mSv 的要求。

参考《辐射安全手册精编》第 14.6.2 节关于急性放射病内容，各型急性放射病剂量阈值

见表 11-14。

表 11-14 急性放射病剂量阈值

分型	受照剂量阈值 (Gy)
骨髓型	轻度
	中度
	重度
	极重度
肠型	10.0
脑型	50.0

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第三十三条关于辐射事故分级要求，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，见表 11-15。

表 11-15 辐射事故分级

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	指Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	指Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

（三）辐射事故防范措施

辐射安全必须依靠必要的体制和管理，良好的设施和完整的工作制度等。引起意外（或事故）的不安全因素有两大类：一类是物的不安全因素，另一类是人的不安全行为。从我国多年所发生的放射事故来看，人为因素造成的责任事故占事故总数的 80%以上。责任事故主要由管理不善、领导失职、安全观念淡漠引起。为减少上述事故的发生，评价提出以下辐射事故防范措施。

（1）组织工作人员参加辐射安全与防护培训学习，提高工作人员的业务水平。

（2）定期开展日常辐射安全培训，提高管理人员和工作人员辐射安全意识和自我防范意识。

（3）制定并落实岗位职责、操作规程、设备检修、辐射安全管理等规章制度，并结合实际不断完善，减少事故发生。

（4）加强辐射防护分区管理，禁止非工作人员进入控制区、监督区。工作人员进入工作场所，应正确佩戴个人剂量计、穿戴个人防护用品，并按要求开展辐射环境测量。

(5) 做好交接记录工作，对放射性药品实行台账管理。

(6) 定期对工作场所辐射安全与环境保护措施的安全防护效果开展检测、维护、检修工作，对发现的安全隐患立即整改，避免事故发生。

(7) 定期对工作场所辐射安全与环境保护措施的管理有效性开展评估，完善各项管理制度的执行情况，发现问题及时完善。

(8) 工作场所出入口处明显处应设置电离辐射警告标志。

(9) 加强工作场所的安保工作，确保门禁系统正常运行，减少放射性药品丢失、被盗事故的发生。

(10) 加强员工核安全文化培养，减少误操作的可能性，形成良好工作习惯，提高自身业务水平，杜绝安全隐患。

(11) 定期对放射性“三废”处理设施进行检修维护，确保放射性“三废”处理设施正常运行。

(12) 定期开展事故应急演练，检验应急程序的可操作性和实用性，检验应急人员是否明确各自岗位的职责，培养队伍的协同工作能力，起到锻炼队伍的能力。检验应急物资、技术等方面的完善情况。

(四) 辐射事故应急

一旦发现辐射源处于辐射事故应急状态，事故现场负责人应立即向应急领导小组负责人报告。应急领导小组负责人按应急程序指令启动应急响应，指挥控制缓解事故，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的规定报告政府有关部门。如应急事态特别紧急，设施事故现场的负责人有义务主动承担起指令启动应急响应和指挥控制缓解事故的责任。建设单位应对所使用的放射性物质定期进行盘查。若发现丢失或被盗，应立即向当地政府有关部门报告，以便及时启动应急响应。

(1) 事故控制

采取合理可行的紧急及后续行动来控制缓解事故，以减小事故后果，使放射源或辐射装置恢复到安全状态。在应急程序中，应当具有可采取的控制缓解行动，并制定用于采取这些行动的实施程序。对履行控制缓解行动的设施内应急人员、外来支援人员（如当地消防队员）和急救人员，应提供适当的个人辐射防护用品。

(2) 放射性核素的运输事故

运输小推车假设在院内运输途中运输小推车侧翻导致放射性核素撒漏，影响事故现场环境。出现这种事故工况，建设单位应立即启动相应的事故应急方案，并上报辐射事件应急处

理小组组长、厦门市生态环境主管部门、厦门市卫生健康主管部门和公安部门。尽量控制现场，并拉警戒线防止公众靠近放射性核素，同时采取措施（药物棉吸附并密封在封闭容器内）防止放射性核素扩散。建设单位应派专业人员配合当地生态环境部门，清理受污染现场，确认安全后方可解除事故警戒。

（3）撤离和出入控制

在发生放射性核素意外丧失屏蔽且难以恢复到其安全贮存位置情况下，人员必须立即撤离到受该辐射源影响而产生高辐射剂量率的局部区域。若装有放射性核素的设备发生泄漏，且造成或很可能造成某房间或局部区域严重污染的情况下，人员也必须从这些房间或局部区域立即撤离。应对撤离的房间或局部区域实施出入控制，直到采取了事故控制缓解措施或进行场所去污，使其恢复到可以接受的安全状态之后，方可解除其出入控制。鉴于项目所使用放射性物质总活度有限，发生在设施内的放射性泄漏通常不会对设施场区之外造成明显危险，因而场外通常没有必要考虑采取撤离公众的防护行动。

（4）场所去污

事故造成设施内某些场所被放射性污染后，在放射性物质泄漏已经得到可靠控制的情况下，应当迅速安排进行场所去污。去污过程中，应对所产生的固态和液态废物进行适当分类收集，以便做进一步处理或处置。若放射性污染的物理半衰期较短，较好的办法是不进行去污，而让其衰变。

（5）人员去污及救治

如果事故已导致或怀疑导致人员的衣服和皮肤受到污染，最简单易行的防护行动是脱去被污染的衣服、采取适当的洗浴方法去污（不应将浴池浸泡或全身淋浴作为初始去污措施，因为这样处理常常会使污染扩散）、换上清洁的衣服。应当将脱下的被污染或怀疑被污染的衣服暂存起来，以便后期检测和处置。个人应当在开始清洗去污前，自行采集鼻擦样品，供可能的内污染检测之用。如果发现较高水平的皮肤污染，则应在医疗和辐射防护人员指导下进行皮肤去污。对于受到或怀疑受到急性辐射损伤的人员，应迅速送往专门的辐射损伤医疗单位进行诊断或治疗。建设单位应向医疗单位提供就诊人员的个人剂量监测或估计结果以及他们的受照情况。

（6）应急辐射监测

应急辐射监测是必不可少的应急响应行动之一，其作用在于为辐射事故的探查、评价以及事故控制缓解行动和紧急辐射防护行动的决策提供依据。建设单位应在辐射事故应急程序中对应急辐射监测的方案和所用仪器仪表做出规定。

11.4 退役影响分析

项目退役后工作场所受放射性污染的设备，经去污处理后，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 中所列设备类控制水平的五十分之一时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。对于无法达到污染控制水平的污染物，交由相关处理资质的单位处理。核医学科场所退役委托有资质机构实施退役终态监测，履行退役竣工环境保护验收手续；经审批主管部门同意后，该场址达到无限制开放的要求。

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

厦门大学附属中山医院成立了以蔡*春为组长，任*林为副组长，颜*坚、林*明、彭*松、张*螺、余*华、何*山、王*岸、苏*辉、王*星、陆*杰、黄*林、杨*赐、王*等人为成员的放射防护与辐射安全委员会，放射防护与辐射安全委员会下设放射防护与辐射安全委员会办公室，挂靠采购部，统筹协调全院日常放射防护与辐射安全管理工作。满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号）中规定的：“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作”。放射防护与辐射安全委员会职责有：

（1）采购部负责更新放射诊疗项目的预评价、控制效果评价、竣工验收、环境评价及环境竣工验收工作；负责全院放射装置的年度放射防护及性能检测，保证放射装置的安全运行，对不符合规定的设备及时整修；指导临床医技科室制定医疗设备放射管理制度和质量控制文件；制定放射事件应急预案。

（2）医务部负责组织、监督医技科室开展放射诊疗和辐射安全管理工作；组织放射防护与辐射安全领导小组成员定期对全院放射防护与辐射安全工作进行检查，并及时监督整改；组织相关科室进行放射事件应急演练；全院放射工作人员的培训工作，办理和保管放射工作人员证及相关培训证书；负责放射诊疗许可证的申报与管理工作。

（3）保障部负责新建、扩建放射诊疗项目的选址、布局、预评价、控制效果评价、竣工验收、环境评价及环境竣工验收等工作；负责放射性废物、废水的监测工作；协助临床医技科室制作放射防护标识，协助临床医技科室做好放射防护制度上墙工作。

（4）院感与预防保健科负责全院放射工作人员的健康体检及个人剂量监测，发现健康体检和个人剂量监测异常时，通知科室及个人及时分析原因，并根据原因做相应处理；建立放射工作人员职业健康档案并永久保存，并视情况进行跟踪随访。

（5）药学部负责放射性药品的采购、发放和日常监管工作。

（6）人力资源部负责放射工作人员放射补贴及放射假的审核。

（7）保卫科负责在放射诊疗设备与场所设置规定的警示标志，并做好相应的检查与管理工作。

（8）放射相关临床医技科室负责本科室工作人员的日常防护管理，制订本科室放射防护管理制度和质量控制文件；保证放射工作人员佩戴个人剂量计，督促放射工作人员按时

参加放射健康体检和放射防护培训；配合后勤保障科室收集材料，做好放射性废物、废水的处理工作，定期校正放射监测仪。

12.2 辐射安全管理

（一）规章制度

厦门大学附属中山医院涉及的核技术利用项目主要包括放射治疗、核医学、介入放射学和X射线影像诊断。为了保护工作人员、公众及环境的安全，促进放射实践的正当性，辐射防护最优化，规范工作人员的操作规程，医院制定相关的辐射防护管理制度，并加以落实，见表12-1。

表12-1 医院部分规章制度一览表

分类	管理制度名称	备注
核医学专项管理制度	《核医学工作制度》《核医学安全管理制度》《核医学仪器管理、操作、保养和维修制度》《放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度》《卫生防护和废物处理制度》《放射性药品不良反应、放射性污染的紧急处理及报告制度》《核医学工作场所的监测制度和计划》《辐射安全防护管理制度》《核医学工作人员职责》《放射性药品安全操作规程》《放射性药物质量控制措施》《SPECT/CT的操作规程》《核医学科碘131治疗肝癌规范及流程》等规章制度。	已制定并已执行
介入科专项管理制度	《DSA操作规程》《介入导管室（DSA）工作制度》《介入导管室防护保健制度》《医疗设备安全管理制度》《介入室技师（士）岗位职责》《介入室护士岗位职责》《介入放射科设备使用制度和维修保养制度》《介入放射科放射安全防护规章制度》等规章制度。	
介入科与核医学科共同制定管理制度	《钇 ⁹⁰ Y微球注射液使用流程》	本项目新增规章制度

厦门大学附属中山医院制定的规章制度符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求。

（二）辐射工作人员拟配备人数

根据医院提供的资料和Y-90微球治疗流程，本项目依托介入科现有6名辐射工作人员、核医学科6名辐射工作人员，肝胆外科4名辐射工作人员，本项目不额外新增辐射工作人员。

（三）辐射工作人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用射线装置和放射性同位素的单位，其辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

本项目依托的工作人员为医院现有工作人员，均已取得辐射安全与防护考核合格证书。

建设单位应在本项目运行阶段安排工作人员每5年进行一次辐射安全和防护专业知识及相关法律法规复训，并取得辐射安全与防护考核复训合格证书。如果后期本项目拟新聘辐射工作人员，建设单位将严格根据相关法律法规的要求，督促本项目新聘辐射工作人员参加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>）关于辐射安全与防护知识的学习，并报名现场考试，取得考核合格证书后方能上岗。

（四）辐射工作人员职业健康体检

根据《中华人民共和国职业病防治法》第三十五条：对从事接触职业病危害的作业的劳动者，用人单位应当按照国务院卫生行政部门的规定组织上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查，并将检查结果书面告知劳动者。

本项目依托的工作人员为医院现有工作人员，均已进行职业病健康体检。建设单位应在本项目运行阶段每2年一次安排本项目辐射工作人员进行在岗期间职业病健康体检。如果后期本项目拟新聘辐射工作人员，建设单位将严格根据相关法律法规的要求，安排本项目新聘辐射工作人员进行上岗前职业病健康体检，并对本项目辐射工作人员建立职业健康档案。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测目的

开展辐射监测的目的主要是及早发现和获取可能发生污染与危害的征兆，确保项目安全运行；防止对环境产生有害影响，避免对工作人员造成不必要的危害；为采取相应的安全措施提供必要的依据；同时监测数据为运行阶段的环境现状提供参考资料；与本底数据进行对照，分析项目运行后对辐射环境的影响。

12.3.2 个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十五条要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，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。

本项目依托的工作人员为医院现有工作人员，均已配备个人剂量计，工作时佩戴，并每季度送有资质单位检测。

12.3.3 工作场所及周围环境监测

为了解项目运行过程中的辐射安全，控制和评价辐射危害，使工作人员和公众所受照射尽可能低，项目计划配备相应的辐射监测设备，定期开展外照射监测、表面污染监测等，

并定期对工作场所及周围环境进行辐射环境监测，建立监测档案。

①验收监测：项目建设完成后，委托有资质的单位进行竣工环境保护验收监测。

②年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行环境监测。

③日常监测：项目运行期间，使用配备的辐射监测设备，对辐射工作场所每季度进行一次环境监测。

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，本项目辐射环境监测计划见表12-2。

表12-2 辐射监测计划

监测项目	监测因子	监测场所	监测位置	监测频次
外照射辐射剂量率	周围剂量当量率	核医学科工作场所	四周屏蔽墙外30cm处、控制室操作位处、防护门外30cm及门缝处、楼上距地100cm、楼下距地170cm、通风橱及储源罐外表面等。	委托监测，频次不低于1次/年，竣工环境保护验收1次；自行监测频率不低于1次/季度。
		1号楼2层介入导管室介入(2)室	墙体、操作位、防护门门缝处、观察窗外30cm、管线孔、楼上距地100cm、楼下距地170cm	委托监测，频次不低于1次/年，竣工环境保护验收1次；自行监测频率不低于1次/季度。
		Y-90患者专用病房	墙体外部30cm、门外30cm人员可达处、楼上距地100cm、楼下距地170cm	
β表面污染		1号楼2层介入导管室介入(2)室	DSA手术床面、墙壁、地面和辐射工作人员表面	委托监测，频次不低于1次/年，竣工环境保护验收1次；自行监测，频次为每次手术后。
		Y-90患者专用病房	患者床表面、墙壁和地面、卫生间地面、卫生间墙面和辐射工作人员表面	委托监测，频次不低于1次/年，竣工环境保护验收1次；自行监测频次为患者出院后。
		核医学科工作场所	工作场所地面、墙面、台面等表面污染水平	委托监测，频次不低于1次/年，竣工环境保护验收1次；自行监测，每次操作结束后、退出现场所前。

本项目制定的辐射监测计划符合建设单位实际情况，包括竣工环境保护验收监测、定期委托监测、自行监测以及辐射工作人员个人剂量监测，内容全面，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准要求。

12.4 辐射事故应急

（一）辐射事件应急处理机构与职责

（1）厦门大学附属中山医院成立了以院长为组长，副院长（分管医疗工作、保障工作、院感工作）为副组长，医务部主任、保卫科主任、院感与预防保健部主任、保障部主任、设备物资部主任、护理部、院办、党办、影像科、核医学科、神经外科、肿瘤放疗科、介入诊疗等相关科室负责人或科主任为成员的辐射事故应急处置工作领导小组，负责组织、开展辐射事件/事故的应急处置救援工作。应急处置工作领导小组下设三个应急分组：医疗救护联络组、后勤保障安全组和应急防护监测组。

（2）放射事故应急处理工作领导小组职责：

- ①监督检查放射安全工作，防止放射事故的发生；
- ②针对防范措施失效和未落实防范措施的单位提出整改意见；
- ③对已发生放射事故的现场进行组织协调，安排救助，并向放射工作人员与公众通报；
- ④负责向上级行政主管部门报告放射事故发生和应急救援情况，负责恢复正常秩序，稳定受照人员情绪等方面的工作。

（二）辐射事故应急预案和应急人员的培训演习计划

（1）该院制定的辐射事故应急预案如下：

①发生人员受超剂量照射事故，应启动本预案；应当立即撤离有关工作人员，封锁现场，切断一切可能扩大污染范围的环节。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报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

②应急处理领导小组召集专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案。

③事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护监测人员的允许不得进入事故区。

④各种事故处理以后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生原因，从中吸取经验教训，采取措施防止类似事故重复发生。并编写事故发生的基本情况，原因分析及处理结果的书面报告报环保部门，凡严重或重大的事故，应向上级主管部门报告。

（2）应急人员的培训演练计划

①应急培训

单位辐射工作人员上岗前应进行辐射安全与防护知识的培训；

单位将积极开展辐射安全防护知识的内部学习，增强辐射工作人员的防护意识，避免

辐射事故的发生。同时将定期邀请环境主管部门的专家讲课，主要包括辐射安全的基础知识、核技术应用项目的防护安全、辐射事故与事故应急等内容。

②应急演练

辐射安全防护领导小组根据需要，每年应至少组织一次辐射事故应急演练，辐射事故演练分为专业性演练和综合性演练，专业性演练由辐射事故应急小组的成员参加，综合性演练除了辐射事故应急小组外，单位其他部门的相关成员也应参加；

演练过程中应注重人员救助、物资援助的演练。同时应急演练前建设单位应制定相应的方案和程序，演练完成后对演练情况做出总结，发现问题及时整改。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-3。

表 12-3 辐射环境保护“三同时”验收清单

污染源或保护源	验收要求	验收依据
建设项目生态环境影响评价文件及批复	落实生态环境影响评价文件及批复要求。	《中华人民共和国生态环境法典》
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》
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》、生态环境部公告 2019 年第 57 号文
防护用品	防护用品按本报告表中表 10-2 中要求进行落实。	GB 18871-2002、HJ 1188-2021、GBZ 130-2020
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 10-1 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 μ Sv/h③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 β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 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。	GB 18871-2002 HJ 1188-2021 GBZ 130-2020
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- γ 剂量率测量仪、 β 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》
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。	（GB18871-2002）及环评批复

表 13 结论与建议

13.1 结论

厦门大学附属中山医院本部位于福建省厦门市湖滨南路 201-209 号，建设单位为满足肿瘤治疗需求，医院拟开展 Y-90 微球治疗项目，主要用于肝脏恶性肿瘤治疗。本项目依托 1 号楼 4 层核医学科进行 Y-90 核素和 Tc-99m 核素的分装、抽取、活度测量、贮存、注药后患者 SPECT/CT 显像扫描以及放射性固体废物暂存等活动；依托 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室使用 1 台 UNIQ Clarity FD20/15 型 DSA 机进行输注；依托 7 号楼 16 层东南侧床号 01~03、04~06 病房作为 Y-90 患者专用病房进行住院观察。

在 1 号楼 2 层介入导管室介入（2）室建设一个乙级非密封放射性物质工作场所，使用 Y-90 和 Tc-99m 两种核素，Y-90 日等效最大操作量**Bq，Tc-99m 日等效最大操作量**Bq，Y-90 和 Tc-99m 不在同一天操作，日等效最大操作量不叠加。

（1）辐射安全与防护分析结论

医院在设置辐射工作场所时已充分考虑了设备性能和运行特点、周围工作场所的辐射防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。本项目辐射工作场所实行分区管理，辐射工作场所采取放射性污染控制措施，并配备辐射剂量率仪、表面污染仪、个人剂量报警仪、铅衣、铅帽、铅围脖等辐射监测仪器和个人防护用品。项目辐射安全与防护措施满足相关标准要求。

（2）环境影响评价结论

①年有效剂量：本项目正常运行时，对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 3.45mSv/a，对公众人员的最大年有效剂量值为**mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求（职业人员 20mSv/a，公众人员 1mSv/a），也可满足剂量约束值要求（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

②屏蔽体外剂量率：本项目介入（2）室外关注点最大辐射剂量率为**μSv/h，同时满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h”和《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，机房周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的标准要求。

本项目 Y-90 患者专用病房外 30cm 最大辐射剂量率为**μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ” 的标准要求。

③**放射性固体废物**：Y-90放射性固体废物和Tc-99m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 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

④**放射性液体废物**：患者在接受 ^{90}Y 微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为**Bq，1 天最大 4 个住院患者， ^{90}Y 核素总活度最大为**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**Bq 的相关要求。本项目每月最多 34 例 ^{90}Y 微球治疗手术，则每月排放总活度为**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 $7.41\text{E}+07\text{Bq}$ 的相关要求。患者产生的尿液每一次排放的活度不超过 1ALI_{min} ，患者产生的尿液可以直接排放，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。每次排放后应做记录并存档。

⑤**放射性气体废物**：本项目 Y-90 核素和 Tc-99m 核素均不具备挥发性，核素操作时均在密闭的容器中，操作过程不涉及加热，基本不会产生放射性废气。

（3）可行性分析结论

①实践正当性分析

Y-90微球治疗对于无法手术切除或消融、肝功能代偿和全身状况良好的原发或转移性肝癌，能有效控制肿瘤进展，显著延长患者生存时间。本项目开展核医学治疗，对于晚期不可手术的肝部肿瘤，可延长肿瘤进展时间、减少患者痛苦、提高患者生存质量，更好地造福更多肝胆肿瘤患者，其使用过程中获得的利益远大于辐射可能造成的损害，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

②产业政策符合性分析

本项目为利用放射性物质进行放射诊疗，有利于满足医院不断发展的医疗需求，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于“鼓励类一六、核能—4. 核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，符合国家产业政策。

（4）总结论

综上所述，厦门大学附属中山医院钇-90 微球治疗项目在落实本报告表提出的各项污染防治措施和安全管理措施后，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，项目正常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，从生态环境保护和辐射防护角度论证，该项目建设是可行的。

13.2 建议

（1）对本评价提出的辐射管理和辐射防护措施，建设单位应尽快落实，在项目建设同时，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

（2）如需增加本报告表所涉及之外的射线装置或对其使用功能进行调整，则应按要求向生态环境主管部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的辐射防护措施。

（3）本项目环评批复后，建设单位应及时向生态环境主管部门办理辐射安全许可证重新申领手续并按要求开展竣工环境保护验收工作。

表 14 审批

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