

核技术利用建设项目

福建省立医院南院核技术利用项目

环境影响报告表
(公示稿)



Handwritten signature and date: 2023.6.13

核技术利用建设项目

福建省立医院南院核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：福建省立医院

通讯地址：福建省福州市鼓楼区东街134号

邮政编码：350001



目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	23
表 3	非密封放射性物质	23
表 4	射线装置	24
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	25
表 6	评价依据	27
表 7	保护目标与评价标准	29
表 8	环境质量和辐射现状	51
表 9	项目工程分析与源项	63
表 10	辐射安全与防护	81
表 11	环境影响分析	106
表 12	辐射安全管理	152
表 13	结论与建议	162
表 14	审批	168

附件 1 委托书

附件 2 辐射安全许可证

附件 3 辐射安全管理机构

附件 4 福建省立医院放射工作相关管理制度

附件 5 辐射事故应急预案

附件 6 辐射培训合格证书（部分）

附件 7 外照射个人剂量监测报告

附件 8 职业健康检查结果总结报告（部分）

附件 9 核医学科辐射防护方案

附件 10 辐射环境检测报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称	福建省立医院南院核技术利用项目				
建设单位	福建省立医院				
联系人	***	联系电话	***		
注册地址	福建省福州市鼓楼区东街 134 号				
项目建设地点	福建省福州市仓山区金榕南路 516 号 福建省立医院南院医技及门急诊楼（二期）				
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	***
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (平方米)	***
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其它	/			

1.1 建设单位情况

福建省立医院是福建省卫健委直属单位、非营利性三级甲等综合医院。医院创建于 1937 年，由华侨胡文虎先生投资兴建，是福建省最早创办的公立医院之一，为全省医疗、教学、科研中心和主要的干部保健基地。

医院学科齐全、技术力量雄厚、特色专科突出、多学科综合优势强大，现有本部院区和南院院区（金山院区），其中本部院区占地面积 38858m²，建筑面积 15.8 万 m²，开放床位 2500 张，年门急诊病人约 200 万人次，住院病人 10 万人次；南院院区占地

面积 14.4 万 m²，一期建筑面积 8 万 m²，开放床位 500 张，年门诊量约 45.9 万人次，住院病人 1.64 万人次。

作为福建省医学教育中心，医院具有从本科、硕士、博士、博士后到毕业后继续教育的较完整医学教学体系，为国家首批住院医师规范化培训示范基地，是福建医科大学临床医学院。医院现已建立博士后工作站，博士、硕士培养点 30 余个，全院教授、副教授 140 多位，博士、硕士研究生导师近 300 位。近年来，医院先后承担 20 多个专业的临床教学、海外留学生培养任务，是福建医科大学海外学院诊断学教研室挂靠单位，拥有内科、外科等 21 个专业的国家级住院医师规范化培训基地，心血管、呼吸与危重症等 6 个专科培训基地，每年承办国家级、省级继续教育项目近百项。医院先后获得“全国百佳医院”、“全国卫生应急先进集体”、“全国群众满意的医疗机构”等荣誉称号，是一所具有光荣传统、在省内外有影响的著名医院。

1.2 项目由来与建设内容

福建省立医院于 2020 年 4 月委托福建省金皇环保科技有限公司编制《福建省立医院金山院区二期工程项目环境影响报告书》，该项目主要建设住院部（二期）、医技及门急诊楼（二期）、感染性疾病大楼（二期）、动力设备中心（二期）等配套用房，项目涉及到射线装置和核医学项目的应另行评价。该项目于 2021 年 7 月 22 日取得了福州市仓山生态环境局的批复（仓环审〔2021〕18 号），目前仍处于建设阶段。

为提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，福建省立医院拟在南院院区医技及门急诊楼（二期）新建核医学科和数字平板减影血管造影机（DSA）项目，用于开展医疗、教学、科研，提高医疗服务体系水平。本项目具体建设内容如下：

① **核医学科项目**。医院计划在医技及门急诊楼（二期）1 楼设置核医学科区域，新增 1 台 SPECT/CT，并使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc、⁸⁹Sr、²²³Ra、¹³¹I 用于放射诊疗工作。项目主要是在医技及门急诊楼（二期）1 楼主体建筑上，进行内部建设、装修以及设备安装，设置防护门、防护窗、动力通风装置和放射性废液收集管道等防护措施，并在医技及门急诊楼（二期）东南侧绿化带和院内道路下方衰变池间内设置 2 套槽式放射性废液衰变池。

② **DSA 项目**。医院计划在医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR10 和手术室 OR16 内分别新增 1 台 DSA，最大管电压≤125kV，最大管电流≤1200mA。项目主要

是在医技及门急诊楼（二期）3 楼主体建筑上，对手术室 OR10 和手术室 OR16 进行改造及装修，增加防护门、防护窗和动力通风装置等防护措施，并对配套辅助用房等进行功能的重新分配及装修等。

项目新增射线装置以及非密封放射性物质使用情况见表 1.2.1~1.2.2。

表 1.2.1 本项目新增射线装置情况一览表

序号	设备名称	数 (台)	型号	主要参数	类别	设备位置
1	SPECT/CT	1	待定	最大管电压 140kV 最大管电流 800mA	III 类	医技及门急诊楼（二期）1 楼 SPECT/CT 机房
2	DSA	1	待定	最大管电压 125kV 最大管电流 1200mA	II 类	医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR10
3	DSA	1	待定	最大管电压 125kV 最大管电流 1200mA	II 类	医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR16

表 1.2.2 本项目非密封放射性物质利用情况

序号	核素名称	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	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	合计： 3.86×10 ⁹ (乙级)	5.55×10 ¹²	放射诊断	医技及门急诊楼（二期）1 楼核医学科 核医学科分装注射室的 1#手套箱内
2	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷		2.96×10 ¹⁰	放射治疗	
3	²²³ Ra	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁸		1.11×10 ⁹		
4	¹³¹ I	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁹		3.55×10 ¹²	甲癌治疗	

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》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）等要求，本项目依法应编制环境影响报告表。福建省立医院于 2023 年 2 月委托福建省金皇环保科技有限公司对福建省立医院南院核技术利用项目进行环境影响评价工作。

我司接受委托后，派技术人员到现场进行调查和资料收集，在完成污染源分析等工作的基础上结合本项目的特点，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关要求编制完成了《福建省立医院南院核技术利用项目环境影响报告表》。本次环境影响评价重点是对项目在施工

和运营过程中可能产生的环境影响进行分析，并在此基础上提出相应的环境保护措施，为生态环境主管部门和建设单位提供环境保护管理的依据。

1.3 原有核技术应用项目许可情况

医院现有辐射安全许可证内容为“使用III、V类放射源，使用II、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”，证书编号为“闽环辐证[00072]”（见附件2）。

福建省立医院本部院区共计使用1枚III类放射源、5枚V类放射源，使用8台II类射线装置、32台III类射线装置，3处乙级非密封放射性物质工作场所；南院院区共计使用1台II类射线装置、13台III类射线装置。医院2个院区内涉及的放射源、非密封放射性物质及射线装置已履行环评及竣工环保验收手续。医院核技术应用项目许可情况见表1.3.1~表1.3.4。

表 1.3.1 医院（本部院区）已许可密封源一览表

序号	核素名称	类别	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	使用场所	备注
1	Sr-90	V	$1.48 \times 10^9 \times 1$	3号楼二层核医学科	已环评、已获得辐射安全许可。
2	Ge-68		$4.00 \times 10^8 \times 1$	1号楼一层核医学科	
3	Ge-68		$3.50 \times 10^6 \times 1$		
4	Ge-68		$1.85 \times 10^7 \times 1$		
5	Ge-68		$4.00 \times 10^7 \times 1$		
6	Ir-192	III	$3.70 \times 10^{11} \times 1$	6号楼地下三层后装治疗室	已环评、已获得辐射安全许可、已验收。

表 1.3.2 医院（本部院区）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	备注
1	Y-90	1.50×10^8	3.00×10^{12}	乙	3号楼二层核医学科 (ECT区域)	已环评、已获得辐射安全许可、已验收。
2	Tc-99m	1.85×10^9	1.11×10^{13}			
3	Sr-89	6.50×10^7	1.48×10^{10}			
4	Sm-153	4.10×10^8	5.55×10^{10}			
5	Ra-223	6.70×10^7	6.70×10^9			
6	Lu-177	7.40×10^8	1.85×10^{11}			
7	I-125 粒子	1.85×10^8	1.85×10^{11}			
8	I-125	3.70×10^6	1.85×10^7			
9	I-131	3.70×10^9	5.55×10^{12}		3号楼二层核医学科 (^{131}I 治疗区域)	
10	Ge-68 (Ga-68)	7.40×10^7	9.60×10^{10}		1号楼一层核医学科	

11	F-18	2.96×10^9	7.10×10^{12}			
12	C-14	1.20×10^4	3.70×10^6			

表 1.3.3 医院（本部院区）已许可射线装置一览表

序号	设备名称	设备型号	分类	数量	工作场所	使用情况	备注
1	制备 PET 药物用加速器	MINTRACE	II 类射线装置	1	1 号楼一层核医学科	使用中	已环评，已取得辐射安全许可证，已验收。
2	直线加速器	TRILOGY		1	6 号楼地下三层加速器治疗室 1		
3	DSA	Allura Xper FD20		1	3 号楼二层介入导管室 A 间		
4	DSA	ARTIS ZEE FLOOR		1	3 号楼二层介入导管室 B 间		
5	DSA	ARTIS ZEE CEILING		1	3 号楼一层介入放射科		
6	DSA	Zee Ceiling		1	6 号楼二层介入导管室 C 间		
7	DSA	UNIQ FD20		1	6 号楼二层介入导管室 D 间		
8	DSA	Allura Xper FD20		1	6 号楼三层第二手术室		
9	口腔 X 光机	ELITYS	III 类射线装置	1	2 号楼五层门诊口腔科	使用中	已环评，已取得辐射安全许可证。
10	PET/CT16 排 CT	GE Discovery LS 16		1	1 号楼一层核医学科一室		
11	SPECT/CT	GE Discovery NM/CT 670		1	3 号楼二层核医学科一室		
12	螺旋 CT	SOMATOM Definition		1	3 号楼一层放射科 2 号机房		
13	螺旋 CT	Sensation 64		1	3 号楼一层放射科 2 号机房		
14	移动式 X 光机	Compact		1	1 号楼七层第三手术室 1 间		
15	数字胃肠 X 光机	EASY DIAGNOST		1	2 号楼七层内镜中心		
16	骨密度仪	Discovery W		1	3 号楼二层核医学科		
17	碎石机	Compact delta		1	3 号楼二层碎石室		
18	移动 X 光机	SLREMOBIL Compact		1	3 号楼三层第一手术室 20 间		
19	移动式 X 光机	Compact		1	3 号楼三层第一手术室 21 间		
20	移动式 X 光机	Compact		1	3 号楼三层第一手术室 22 间		
21	移动 X 线机（移动 DR）	MOBILETT XP Digital		1	3 号楼一层放射科		
22	X 线摄片机（DR）	Aristos VX Plus		1	3 号楼一层放射科 3 号机房		
23	移动床边机	MOBILE		1	3 号楼一层放射科		
24	X 线摄片机（DR）	Aristos VX Plus		1	3 号楼一层放射科 9 号机房		
25	数字胃肠机	Axiom Luminos drf		1	3 号楼一层放射科 7 号机房		
26	移动 DR	MOBILETT		1	5 号楼一层急救中心		

27	PET/CT 多排 CT	GE Discovery 710		1	1 号楼一层核医学科二室		
28	SPECT/CT	GE Discovery NM/CT 670 Pro		1	3 号楼二层核医学科二室		
29	CT 模拟定位机	Big Bore CT		1	6 号楼地下三层		
30	移动 C 臂 X 光机	Cios connect 型		1	1 号楼七层第三手术室 2 间		
31	口腔 X 线摄影装置	9300c 型		1	2 号楼 5 层门诊口腔科		
32	数字乳腺 X 射线系统	Dimension S 型		1	3 号楼一层放射科 10 号机房		
33	移动式 X 线机	MOBILETT XP Digital		1	3 号楼一层放射科		
34	数字化 X 射线摄影机	Ysio Max		1	3 号楼一层放射科 4 号机房		
35	数字化 X 射线摄影机	Digital Diagnost		1	3 号楼一层放射科 5 号机房		
36	X 射线计算机断层摄影装置 (CT)	SOMATOM Force		1	6 号楼一层放射科		
37	X 射线计算机断层摄影装置 (CT)	Light Speed VCT		1	5 号楼二层 CT 室		
38	移动 C 型臂	Cios Select SI		1	6 号楼三层手术室 7		
39	CT	SOMATOM go.Top		1	3 号楼一层放射科 6 号机房		
40	DR	Luminos dRF Max		1	5 号楼二层 DR 机房		

表 1.3.4 医院（南院院区）已许可射线装置一览表

序号	设备名称	设备型号	分类	数量	工作场所	使用情况	备注
1	DSA	Allura Xper FD20	II 类射线装置	1	南院医技及门急诊楼（一期）3 楼病房手术室	使用中	已环评，已取得辐射安全许可证，已验收。
2	牙片 X 光机	HELIODENT PLUS	III 类射线装置	1	南院医技及门急诊楼（一期）2 楼口腔科	使用中	已环评，已取得辐射安全许可证。
3	牙片 X 射线机	OrthophosXG 5Sirona		1	南院医技及门急诊楼（一期）2 楼口腔科		
4	CT	SOMATOM Definition		1	南院医技及门急诊楼（一期）1 楼放射科		
5	移动式 X 光机	SIRMOBIL Compact L		1	南院医技及门急诊楼（一期）3 楼病房手术室		
6	DR	Lnminofusion		1	南院医技及门急诊楼（一期）3 楼健康管理科		
7	DR	Lnminofusion	1	南院医技及门急诊楼（一期）1 楼放射科			

8	数字肠胃机	AxiomLuminosdrf	1	南院医技及门急诊楼（一期）1楼放射科
9	CT	OptimaCT680 Expert	1	南院医技及门急诊楼（一期）1楼放射科
10	数字肠胃机	Lnminos Agile	1	南院医技及门急诊楼（一期）2楼消化内镜中心
11	移动式C形臂X射线机	ZiehmSolo	1	南院医技及门急诊楼（一期）3楼病房手术室
12	DR	Ysio	1	南院医技及门急诊楼（一期）1楼放射科
13	数字乳腺X射线摄影系统	HologicSeleniumDimensions	1	南院医技及门急诊楼（一期）1楼放射科
14	移动式X光机	MobilettMira	1	南院医技及门急诊楼（一期）1楼放射科

1.4 原有核技术应用项目辐射安全管理及防护情况

（1）辐射防护管理制度

福建省立医院成立了以省急救中心副主任郑晓春为组长的放射防护领导小组，制定了《福建省立医院辐射事故应急预案》、《放射工作人员管理制度》、《辐射防护工作档案管理制度》、《个人防护用品使用与管理制度》、《放射工作人员岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性同位素及射线装置使用登记制度》、《放射性同位素及射线装置台帐管理制度》、《射线装置检修和维护制度》、《辐射工作定期自查和监测制度》、《放射性同位素与射线装置质量保证方案》等辐射安全管理制度，并严格遵守执行。

（2）辐射工作人员培训、个人剂量监测档案和职业健康监护情况

福建省立医院南院现有辐射工作人员共计 99 名，医院已建立辐射工作人员培训、职业健康监护和个人剂量监测档案，根据档案记录：

①截止 2023 年 5 月，福建省立医院南院辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训，并取得合格证书（部分辐射培训合格证书见附件 6）。

②医院已为辐射工作人员配备了个人剂量计，由专人负责收集个人剂量计，并委托有资质单位承担个人剂量监测工作，监测频度为 90 天 1 次。根据杭州普洛赛斯检测科技有限公司提供的《福建省立金山医院放射工作人员 2022 年 1 月-2022 年 12 月年度职业外照射个人剂量监测结果通知单》，辐射工作人员个人剂量监测年统计结果中年总有效剂量最大值为 0.807mSv（阮景明，男），低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的辐射工作人员剂量管理值 5mSv/a 的要求。

③医院已为辐射工作人员建立职业健康监护档案，由福建省立医院健康管理科对辐射工作人员进行职业健康体检，并出具相应《福建省立医院职业健康检查结果总结报告》，每两年的个人体检报告均存档备案。

(3) 辐射工作场所监测情况

在设备正常运行状态下，医院每月均对辐射工作场所进行巡测；此外，院方每年委托有监测资质的单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为1次/年，并将巡测和监测数据记录存档。根据医院2022年度辐射工作场所检测报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

(4) 辐射监测仪器和防护用品配备情况

福建省立医院南院为医护人员和受检者配备了必要的个人防护用品，具体放射防护用品清单见表1.4.2。

表 1.4.2 医院放射防护用品一览表

序号	放射防护用品名称	规格	数量	存放位置
1	铅帽	0.5mmPb	6	放射科
2	铅围脖	0.5mmPb	4	
3	铅衣	0.5mmPb	5	
4	铅围裙	0.5mmPb	3	
5	铅衣	0.5mmPb	6	介入治疗中心
6	铅围裙	0.5mmPb	5	
7	铅帽	0.5mmPb	6	
8	铅围脖	0.5mmPb	3	
9	铅屏风	0.5mmPb	1	

(5) 辐射工作管理情况

医院日常按照制定的一系列规章制度开展辐射工作管理，已提交2022年度安全评估报告；建立个人剂量计档案和职业健康体检档案，并指定专人管理，定期委托有资质的单位开展个人剂量计检测、组织辐射工作人员进行职业健康体检；医院安排责任科室日常定时巡查、检测设备性能，据调查，截止目前，福建省立医院南院使用的射线装置正常运行，未发生辐射事故；院方已制定本年度辐射应急演练计划，并适时开展。

1.5 项目地理位置和周边概况

1.5.1 项目地理位置

本项目位于福建省福州市仓山区金榕南路 516 号福建省立医院南院医技及门急诊楼（二期）1 楼和 3 楼，医院地理位置及其周边环境现状分布图见图 1.5-1 和图 1.5-2 所示。

1.5.2 辐射工作场所及周边关系

福建省立医院南院医技及门急诊楼（二期）位于院区中部，其北侧为院内道路、感染性疾病大楼（二期），东侧为院内道路、医技及门急诊楼（一期）、住院部（一期），南侧为院内道路、住院部（二期）、动力设备中心（一期）以及动力设备中心（二期），西侧为院内道路。

本项目均位于医技及门急诊楼（二期）内，其中核医学科项目设置于 1 楼东侧，衰变池间设置于医技及门急诊楼（二期）东南侧绿化带和院内道路下方；DSA 项目的手术室 OR10 位于 3 楼北侧，手术室 OR16 位于 3 楼东北侧，项目周边环境情况详见表 1.5.1。

本项目评价范围见图 1.5-2，医技及门急诊楼（二期）负 1 楼至 4 楼局部平面图见图 1.5-3~1.5-8，现场照片见图 1.5-9。

表 1.5.1 本项目周边环境主要情况一览表

项目	核医学科	衰变池间	手术室 OR10	手术室 OR16
位置	医技及门急诊楼（二期）1 楼东侧	医技及门急诊楼（二期）东南侧	医技及门急诊楼（二期）3 楼北侧	医技及门急诊楼（二期）3 楼东北侧
北侧	功能测定室、水井间、强电间、冷冻水井间、楼梯间	室内停车场	控制室、机房	污物通道
东侧	院内道路、候诊区、传递间、诊室 1、诊室 2	/	走廊	污物通道、预处理间
南侧	院内道路、走廊	楼梯间、电梯间	手术室 OR11	走廊、手术室 OR17
西侧	应急通道、走廊、多功能室、电梯厅、卫生间、艾灸室、理疗室、大厅	走廊、室内停车场	走廊	控制室、机房
楼上	库房、走廊、强电机房、空调机房、医师室、过道、更衣室、卫浴间、更鞋区、示教室、设备室、工具间、配液设备间、水处理设备间	绿化带、院内道路	净化机房	后勤办公室
楼下	室内停车场、电气间	/	等候室、候诊室、更衣室、患者通道、恢复室、咨询室	机房、办公通道、值班室、无菌库房、缓冲间、耗材库、会议室、卫生间

1.6 项目选址及合理性分析

本项目核医学科设置于医技及门急诊楼（二期）1 楼东侧，所涉及的 2 套槽式放射性废液衰变池设置于医技及门急诊楼（二期）东南侧绿化带和院内道路下方的衰变池间内。核医学科工作场所的 5 个排风口均高出医技及门急诊楼（二期）的屋脊，位于大楼东侧，已尽可能远离周边高层建筑。项目核医学科位置独立，充分考虑周围场所的安全，不毗邻产科、儿科、食堂等部门，与周边非放射性工作场所不交叉，尽可能做到相对独立布置和集中设置，有单独出、入口，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的选址要求。

项目 2 间 DSA 机房（即手术室 OR10 和手术室 OR16）分别设置于医技及门急诊楼（二期）北侧和东北侧，位于手术室区内，有单独的固定机房，工作场所相对独立，与周边非放射性工作场所隔开，周边人员停留时间较短，且 DSA 机房大小、屏蔽物质厚度等均符合相关标准要求。项目 DSA 机房选址充分考虑了邻室（含楼上楼下）和周围场所的人员防护与安全，避开了人群聚集点。

本项目辐射工作场所四周人员停留较少，项目 50m 评价范围均位于医院内，经本项目防护设施、距离以及楼内隔室墙体衰减后，对周围环境影响不大。综上所述，本项目辐射工作场所选址考虑了周边及上下楼情况，项目作业与其他科室不交叉，避开人群聚集区，按照设计的防护措施，运行时对周围环境辐射影响小。因此，本项目选址是合理的。

1.7 实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。

目前，核医学科已在我国各大医院广泛推广，技术已十分成熟，在医疗保障领域起了十分重要的作用。此外，介入治疗技术具有准确、安全、高效、创伤小、并发症少等优点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。福建省立医院南院核医学科和 DSA 项目的配置，提高医院整体医疗水平，为当地病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。

本项目整体布局较为合理，各工作场所均按相关要求进行了设计，防护措施满足标准要求。项目对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”原则。

1.8 国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 29 号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“5、……数字化医学影像设备……”以及“三十七、卫生健康”中的“5、医疗卫生服务设施建设”项目，因此福建省立医院南院核技术利用项目符合国家产业政策。

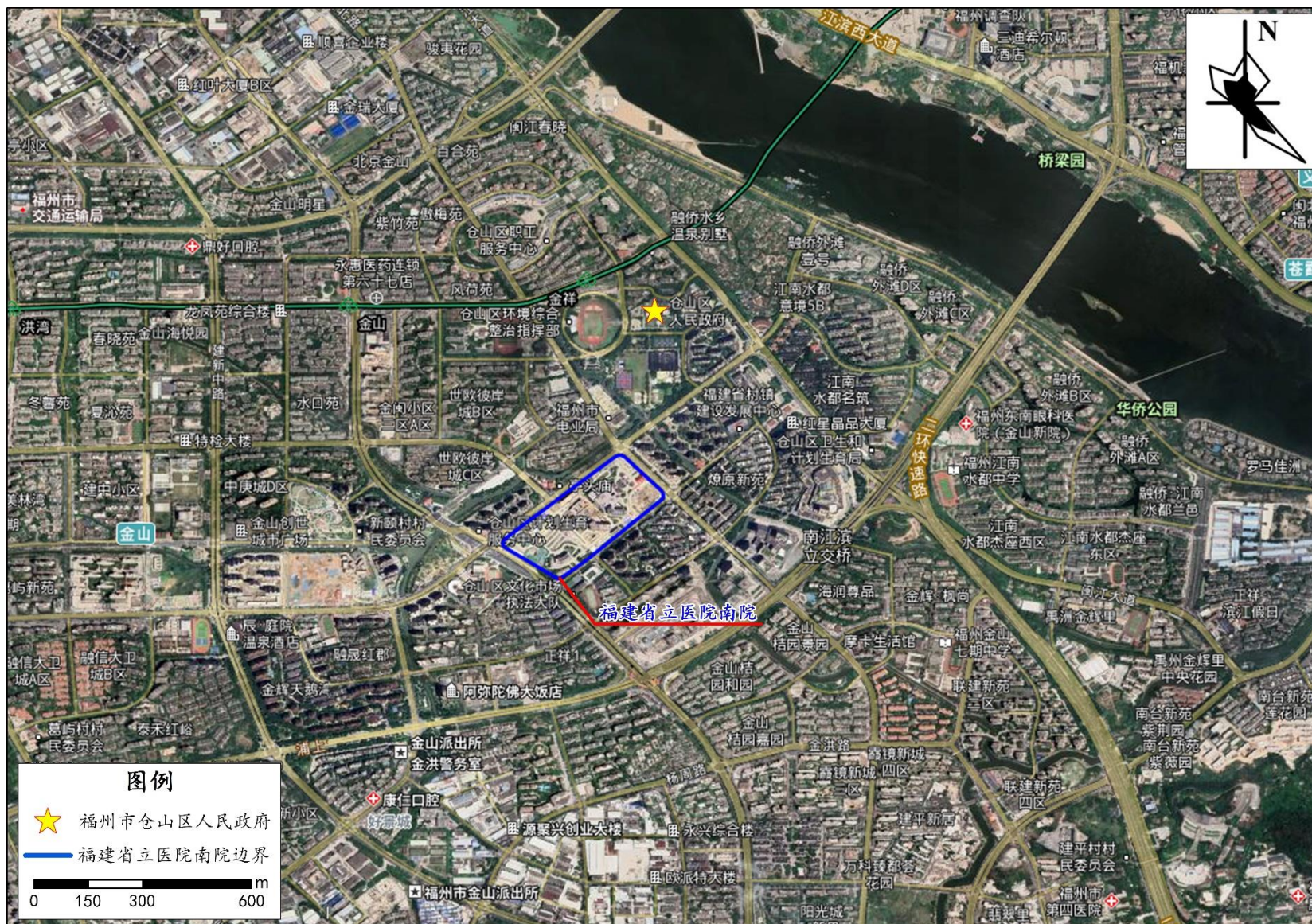
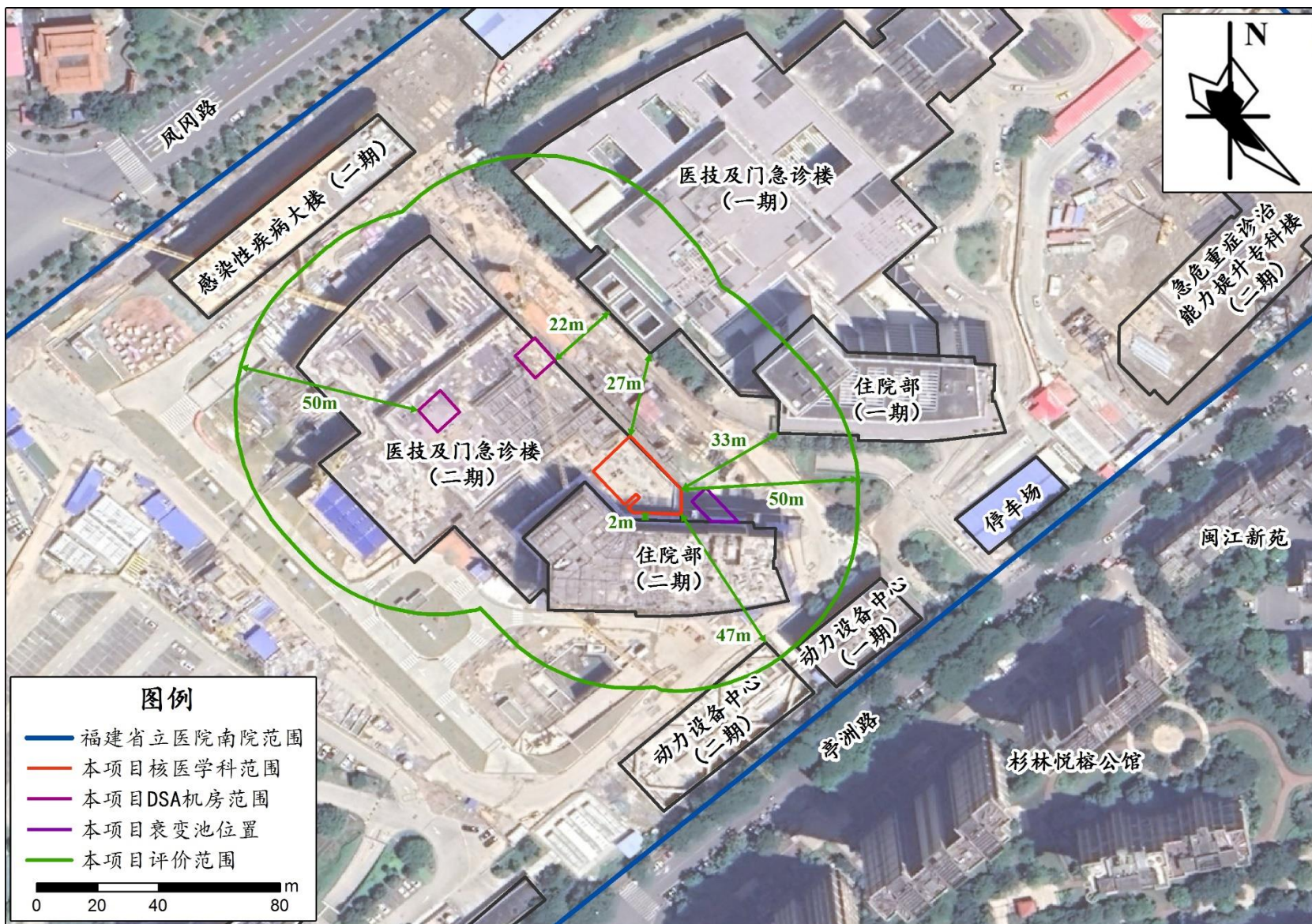


图 1.5-1 福建省立医院南院地理位置图



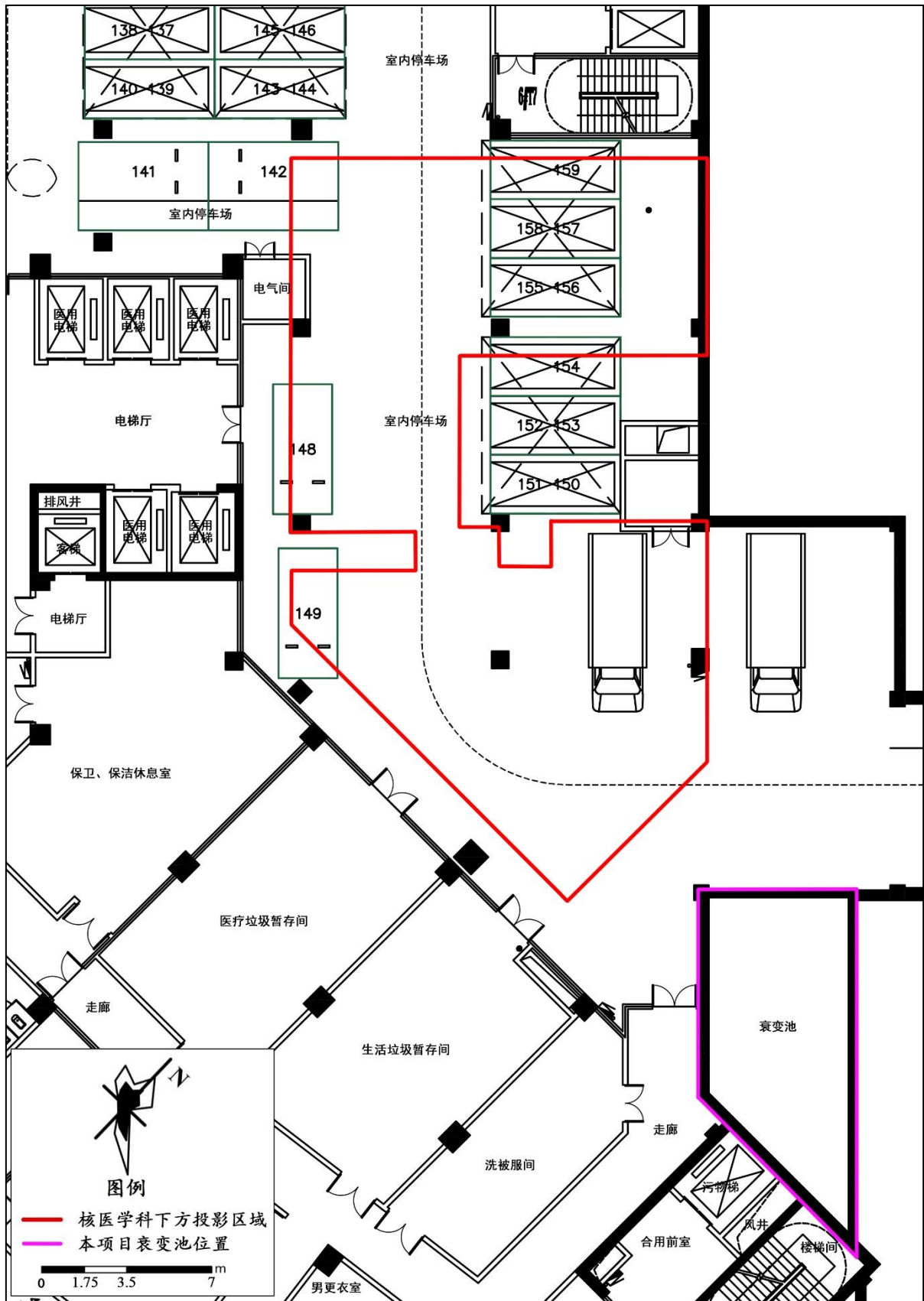
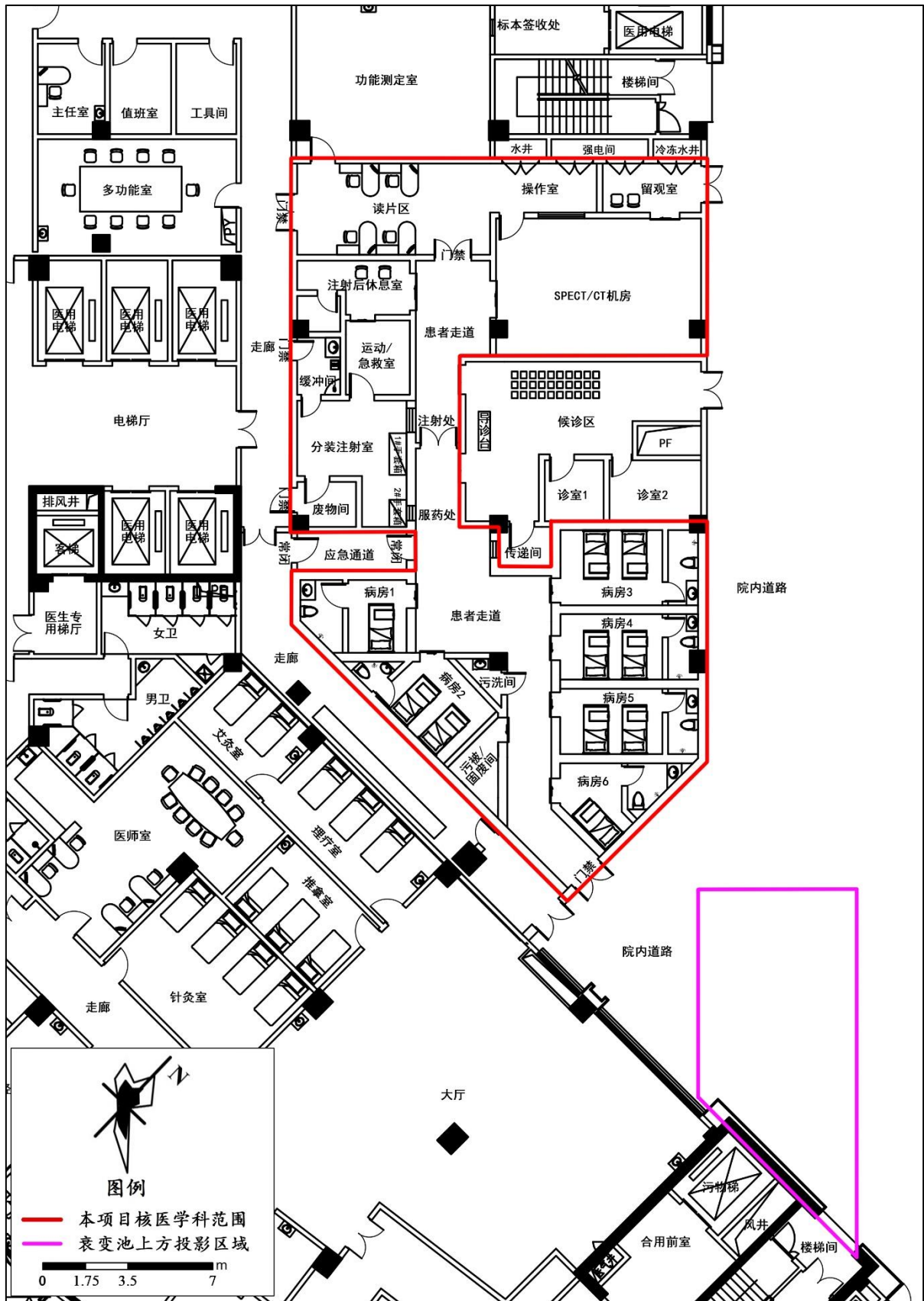


图 1.5-3 省立南院医技及门急诊楼（二期）负 1 楼局部平面图（核医学科下方）



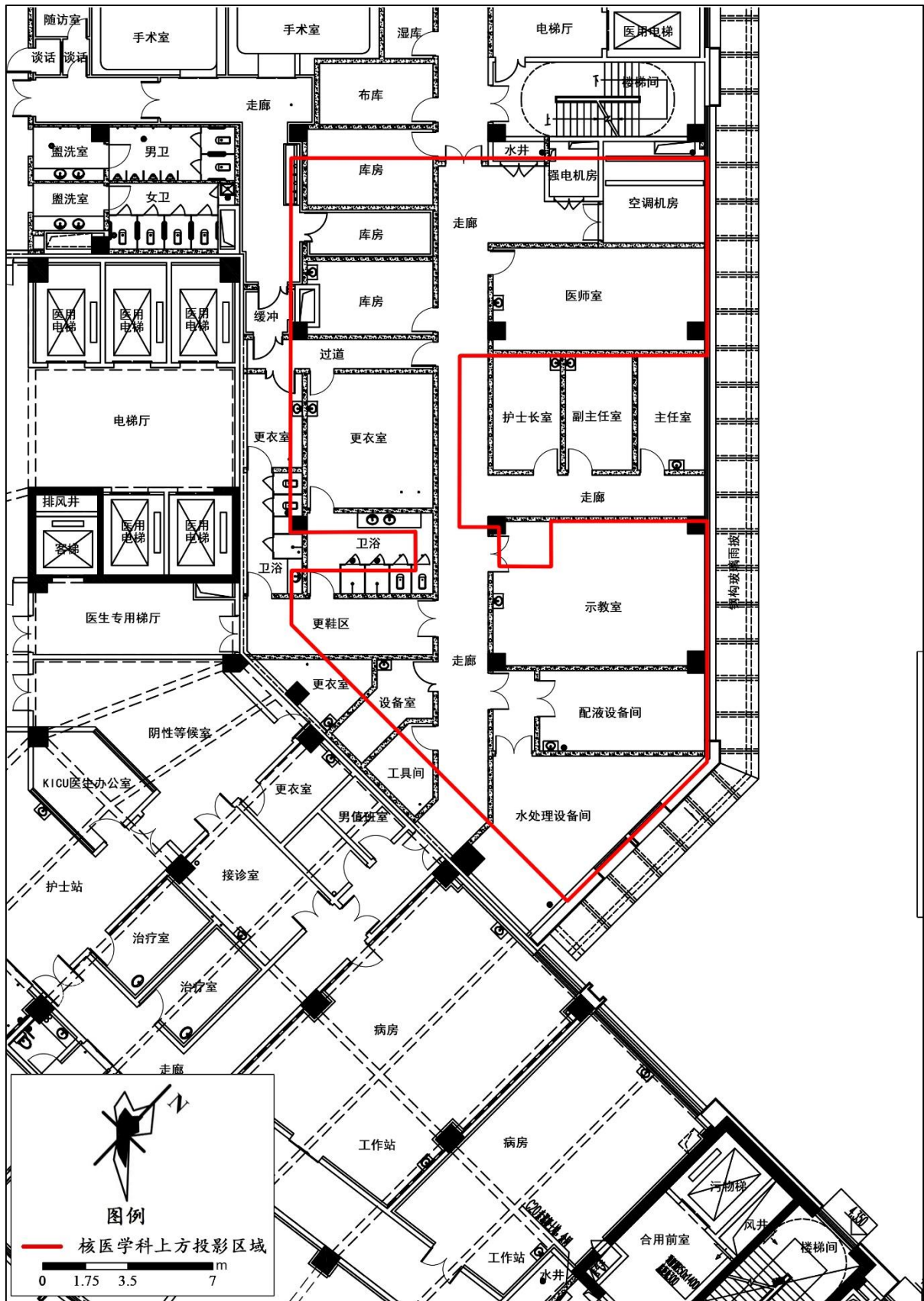


图 1.5-5 省立南院医技及门急诊楼（二期）2 楼局部平面图（核医学科上方）

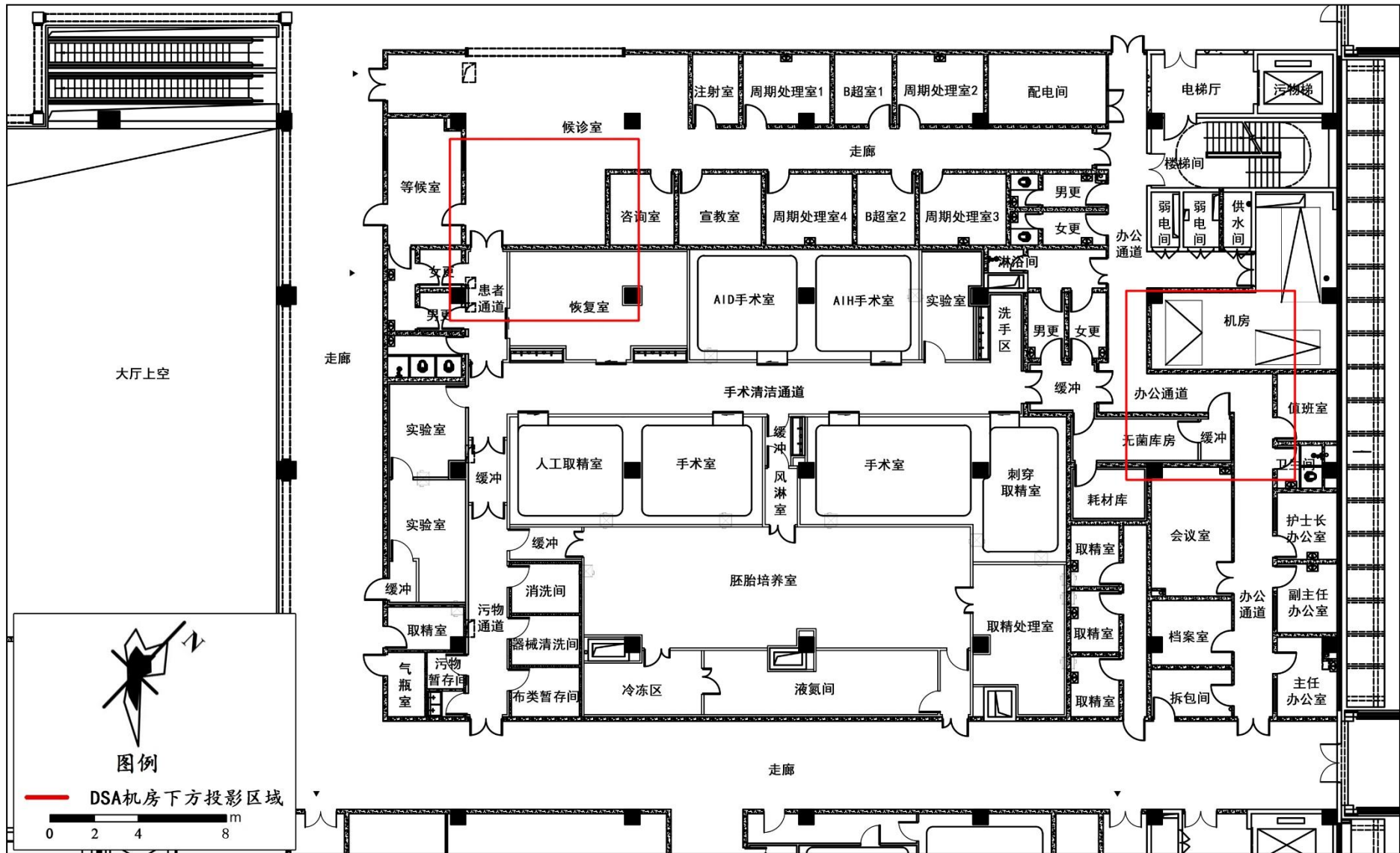


图 1.5-6 省立南院医技及门急诊楼（二期）2 楼局部平面图（DSA 机房下方）



图 1.5-7 省立南院医技及门急诊楼（二期）3 楼局部平面图（DSA 机房处）

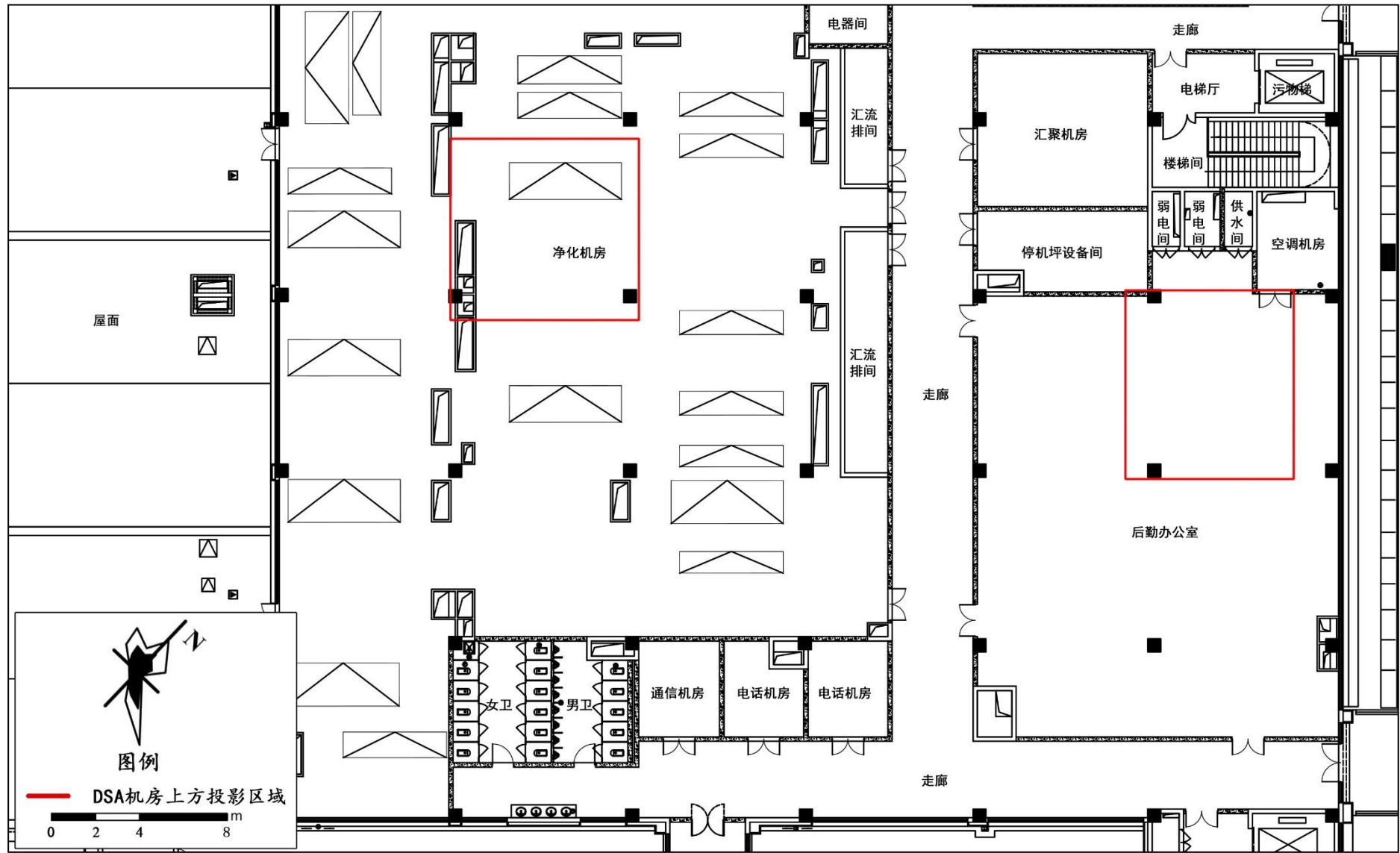


图 1.5-8 省立南院医技及门急诊楼（二期）4 楼局部平面图（DSA 机房上方）



项目医技及门急诊楼（二期）现状



医技及门急诊楼（二期）负1楼室内停车场
（核医学科下方）



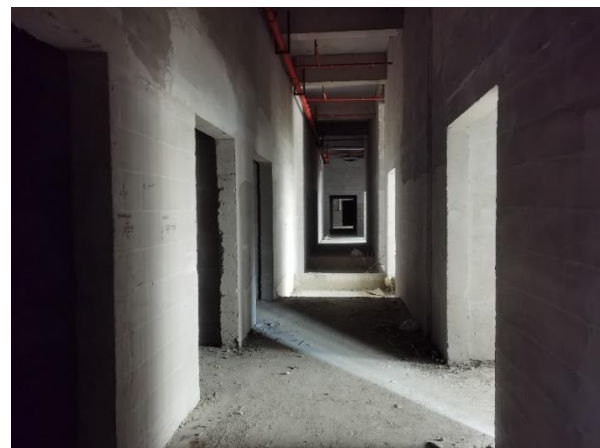
医技及门急诊楼（二期）1楼甲癌治疗区域



医技及门急诊楼（二期）1楼 SPECT/CT 机房



医技及门急诊楼（二期）2楼示教室
（核医学科上方）



医技及门急诊楼（二期）2楼走廊
（核医学科上方）



医技及门急诊楼（二期）2楼候诊室
（手术室 OR10 下方）



医技及门急诊楼（二期）2楼机房和办公通道
（手术室 OR16 下方）



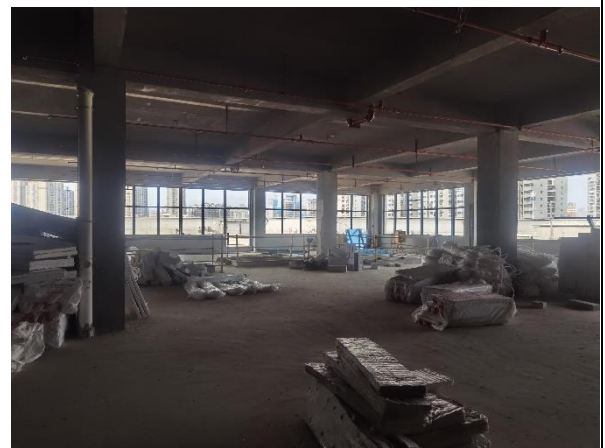
医技及门急诊楼（二期）3楼手术室 OR10



医技及门急诊楼（二期）3楼手术室 OR11



医技及门急诊楼（二期）3楼手术室 OR16



医技及门急诊楼（二期）4楼净化机房
（手术室 OR10 上方）



医技及门急诊楼（二期）4楼后勤办公室
（手术室 OR16 上方）



项目东侧医技及门急诊楼（一期）



项目东侧住院部（一期）



项目南侧住院部（二期）



项目南侧动力设备中心（二期）



福建省立医院南院南 1 门

图 1.5-9 福建省立医院南院现状照片

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态/低毒	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	5.55×10 ¹²	核医学诊断	很简单的操作	医技及门急诊楼（二期）1楼核医学科	核医学科分装注射室的1#手套箱内
2	⁸⁹ Sr	液态/中毒	使用	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷	2.96×10 ¹⁰	核医学治疗	简单操作		核医学科分装注射室的2#手套箱内
3	²²³ Ra	液态/极毒	使用	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁸	1.11×10 ⁹	核医学治疗	简单操作		
4	¹³¹ I	液态/中毒	使用	3.70×10 ¹⁰	3.70×10 ⁹	3.55×10 ¹²	核医学治疗	简单操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT/CT	III	1	待定	140	800	显像诊断	医技及门急诊楼（二期）1 楼 SPECT/CT 机房	/
2	DSA	II	1	待定	≤125	≤1200	放射诊断/介入治疗	医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR10	/
3	DSA	II	1	待定	≤125	≤1200	放射诊断/介入治疗	医技及门急诊楼（二期）3 楼手术室 OR16	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废气	气态	主要为 ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{131}I	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭过滤后，由 5 个高出屋脊的排放口排放
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	通过 SPECT/CT 机房、手术室 OR10、手术室 OR16 的排风系统排入大气，臭氧在 20~30 分钟左右可自动分解
放射性废液（非密封放射性物质使用过程中产生的放射性废液）	液态	^{99m}Tc	/	10.8t	129.6t	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	1#槽式放射性废液衰变池	经槽式放射性废液衰变池衰变，符合排放标准后排入医院废水处理系统
		^{131}I	/	22.7t	272.4t		2#槽式放射性废液衰变池	
放射性固体废物（注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性杯子、餐具及废活性炭等）	固态	^{131}I	/	10kg	120kg	清洁解控水平： $\leq 1 \times 10^2 \text{Bq/g}$ α 表面污染： $\leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$ β 表面污染： $\leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$	暂存于甲癌病房的污被/固废间内	经至少 180 天衰变，达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理
		^{99m}Tc	/	34.5kg	375kg		暂存于分装注射室的废物间内	经至少 30 天衰变，达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理
		^{223}Ra		1.5kg	15kg			经至少 10 个半衰期衰变，达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理
		^{89}Sr	/	1kg	10kg		清洁解控水平： $\leq 1 \times 10^3 \text{Bq/g}$ α 表面污染： $\leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$ β 表面污染： $\leq 0.8 \text{Bq/cm}$	
槽式放射性废液衰变池的污泥	固态	^{99m}Tc	/	/	/	清洁解控水平： $\leq 1 \times 10^2 \text{Bq/g}$ α 表面污染： $\leq 0.08 \text{Bq/cm}^2$	暂存于 1#槽式放射性废液衰变池	经至少 30 天衰变，达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理

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
		^{131}I	/	/	/	β 表面污染: $\leq 0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$	暂存于 2#槽式放射性废液衰变池	经至少 180 天衰变, 达到清洁解控水平后, 作为普通医疗废物处理
剩余放射性药物	液态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra	/	/	/	/	暂存于核医学科分装注射室的 1#手套箱内	厂家回收
		^{131}I	/	/	/	/	暂存于核医学科分装注射室的 2#手套箱内	
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015年1月1日实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018年12月29日修订；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019年3月2日修订；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017年10月1日实施；</p> <p>(6) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年第66号，2017年12月5日；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，2021年1月1日实施；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011年5月1日；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021年1月4日修订；</p> <p>(10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工部公告2017年第65号，2018年1月1日实施；</p> <p>(11) 《放射性废物安全管理条例》，2012年3月1日实施；</p> <p>(12) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，2007年11月1日；</p> <p>(13) 《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》，环发[2006]145号，2006年9月26日；</p> <p>(14) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日；</p> <p>(15) 《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》中华人民共和国生态环境部，2019年12月23日；</p> <p>(16) 《产业结构调整指导目录》（2019年本），2020年1月1日实施；</p> <p>(17) 《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>（试行）的通知》（闽环保辐射[2013]10号）；</p> <p>(18) 《福建省环保厅关于加强放射源废物（源）收贮管理工作的通知》，2017年5月。</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) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871-2002) ;</p> <p>(3) 《电离辐射监测质量保证通用要求》 (GB 8999-2021) ;</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021) ;</p> <p>(5) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) ;</p> <p>(6) 《操作非密封源的辐射防护规定》 (GB 11930-2010) ;</p> <p>(7) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》 (HJ 10.1-2016) ;</p> <p>(8) 《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021) ;</p> <p>(9) 《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020) ;</p> <p>(10) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) ;</p> <p>(11) 《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》 (YYT 0740-2009) ;</p> <p>(12) 《放射性废物管理规定》 (GB 14500-2002) ;</p> <p>(13) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ 128-2019) ;</p> <p>(14) 《工作场所职业病危害警示标识》 (GBZ 158-2003) ;</p> <p>(15) 《大气污染物综合排放标准》 (GB 16297-1996) ;</p> <p>(16) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB 18466-2005) ;</p> <p>(17) 《危险废物贮存污染控制标准》 (GB 18597-2023, 2023 年 7 月日实施) ;</p> <p>(18) 《危险废物收集 贮存 运输技术规范》 (HJ 2025-2012) ;</p> <p>(19) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》 (HJ 421-2008) ;</p> <p>(20) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》 (GB 12523-2011) 。</p>
其 他	<p>(1) 委托书;</p> <p>(2) 医院辐射安全管理制度、个人剂量检测报告、职业健康检查报告、辐射工作人员培训合格证书等相关资料;</p> <p>(3) 福建省立医院南院核技术利用项目的建筑结构设计图以及与项目相关的技术资料;</p> <p>(4) 福建省立医院辐射安全许可证;</p> <p>(5) 厦门亿科特检测技术有限公司和中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心出具的检测报告。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目包括乙级非密封放射性物质工作场所，配套使用 III 类射线装置；使用 II 类射线装置。项目运行过程中主要为非密封放射性物质和射线装置产生的电离辐射对周围环境的影响，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/T 10.1-2016）中，“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。……射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）……”，根据本项目建设内容，评价范围确定为：项目核医学科工作场所边界外以及 DSA 机房实体屏蔽物外 50m 范围内，见图 1.5-2。

7.2 保护目标

本项目评价范围及保护目标见图 1.5-2~图 1.5-8，本项目辐射环境评价范围内均无居民点、学校等敏感目标分布，评价范围内保护目标主要为辐射工作人员、医护人员及周边的公众等。本项目环境保护目标情况见表 7.2.1。

表 7.2.1 本项目周边环境保护目标一览表

序号	工作场所	方位	保护目标名称	距离 (m)	单个小时内最大规模	保护要求 (mSv/a)
1		本项目核医学科内	辐射工作人员	内部	约 10 人	5 ^①
2	核医学科	北侧强电间、冷冻水井	公众人员	紧邻	约 2 人	0.1 ^①
		东侧院内道路、导诊台、候诊区、传递间、诊室 1、诊室 2		紧邻	约 40 人	
		南侧院内道路、走廊		紧邻	流动人群约 10 人	
		西侧应急通道、走廊		紧邻	流动人群约 5 人	
		楼上库房、走廊、强电机房、空调机房、医师室、过道、更衣室、卫浴间、更鞋区、示教室、设备室、工具间、配液设备间、水处理设备间		紧邻	约 30 人	
		楼下室内停车场、电气间		紧邻	约 20 人	
3	衰变	北侧室内停车场	公众人员	紧邻	约 20 人	0.1 ^①

	池间	南侧楼梯间、电梯间		紧邻	流动人群约 20人	
		西侧走廊、室内停车场		紧邻	流动人群约 10人	
		上方绿化带、院内道路		紧邻	流动人群约 10人	
4		机房北侧控制室内	辐射工作人员	紧邻	约4人	5 ^①
手术室 OR10 内		内部		约6人		
5	手术室 OR10	东侧走廊	公众人员	紧邻	流动人群约 5人	0.1 ^①
		南侧手术室 OR11		紧邻	约8人	
		西侧走廊		紧邻	流动人群约 5人	
		楼上净化机房		紧邻	约4人	
		楼下等候室、候诊室、更衣室、患者通道、恢复室、咨询室		紧邻	约30人	
6		机房西侧控制室内	辐射工作人员	紧邻	约4人	5 ^①
		手术室 OR16 内		内部	约6人	
7	手术室 OR16	北侧污物通道	公众人员	紧邻	流动人群约 5人	0.1 ^①
		东侧污物通道、预处置间		紧邻	流动人群约 5人	
		南侧走廊手术室 OR17		紧邻	约8人	
		楼上后勤办公室		紧邻	约20人	
		楼下机房、办公通道、值班室、无菌库房、缓冲间、耗材库、会议室、卫生间		紧邻	约30人	
8	医技及门急诊楼（二期）其他评价范围内区域（7F）		公众人员	周边	约300人	0.1 ^①
9	北侧院内道路			38	流动人群	
10	东侧医技及门急诊楼（一期）（6F）			22	约300人	
11	东侧住院部（一期）（14F）			33	约500人	
12	南侧住院部（二期）（14F）			2	约500人	
13	南侧动力设备中心（二期）（3F）			47	约20人	
14	西侧院内道路			40	流动人群	

注：①《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及本评价要求。

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

4.2.5 解控

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑表 7.3.1 所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于表 7.3.1 中规定的或审管部门根据该规定的准则所建立的豁免水平。

表 7.3.1 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10^3	^{89}Sr
1×10^2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{223}Ra

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限值

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；本次 DSA 项目取其 1/4 即 5mSv 作为管理限值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

年有效剂量，1mSv；本评价参考“第 11.4.3.2 款剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内”，通过综合考虑 DSA 项目及周围环境状况，本次 DSA 项目对公众照射的剂量约束值取每年 0.1mSv。

DSA 项目辐射环境影响评价标准具体见表 7.3.2。

表 7.3.2 DSA 项目辐射环境影响评价标准 单位：mSv/a

分类	GB 18871-2002 剂量限值	DSA 项目剂量约束值
职业照射	20	5
公众照射	1	0.1

6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制

制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 7.3.3 所列。

表 7.3.3 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 ¹⁾	4×10^1
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

1) 该区内的高污染子区除外。

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.1.2 确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

6.4.1.3 对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

6.4.2 监督区

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

6.4.3 非密封放射性物质工作场所的分级

非密封放射性物质工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 应按表 7.3.4 将非密封放射性物质工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7.3.4 非密封放射性物质工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

C2 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) 与核素毒性组别修正因子的乘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 7.3.5 和表 7.3.6。

表 7.3.5 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
极毒	^{223}Ra	10
中毒	^{89}Sr 、 ^{131}I	0.1
低毒	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.01

表 7.3.6 操作方式与放射源状态修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
医疗机构使用	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (液态)	很简单操作	10
放射性药品生产	分装、标记 (液体)	简单操作	1
核素治疗	^{131}I (液态)	简单操作	1

8.6 放射性物质向环境排放的控制

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入 ALI 值中的较小者)。

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

根据附录 B1.3.4 和 B1.3.5 条款规定，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 $I_{j,L}$ 限值计算公式：

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

式中： DL ——相应的有效剂量的年剂量限值，取 20mSv/a ；

e_j ——标准中表 B3 中给出的放射性核素 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 7.3.7。

表 7.3.7 放射性核素排放导出限值

放射性核素	职业照射待积有效剂量 (Sv/Bq)		ALI _{min} 一次排放 限值 (Bq)	10ALI _{min} 月排放 限值 (Bq)
	吸入 $e(g) j, inh$	食入 $e(g) j, ing$		
^{99m} Tc	2.9×10^{-11}	2.2×10^{-11}	6.90×10^8	6.90×10^9
¹³¹ I	1.1×10^{-8}	2.2×10^{-8}	9.09×10^5	9.09×10^6

7.3.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4 总则

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 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同表 7.3.5 和表 7.3.6。

4.3 辐射工作场所分区

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

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

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

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.5 服药患者出院要求

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 7.3.8 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	主要放射 (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		
^{89}Sr	1492	583	—	50.53	≤ 200
^{131}I	606	—	364	8.0207	≤ 400

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 方可出院。

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药

后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

6.2.5 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。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

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。手套箱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。……碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7 放射性废物的管理

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

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。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射

性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置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。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

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

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，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 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫

生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

7.3.3.3 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。

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

8 辐射监测

8.1.1 开展核医学诊疗实践的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作，不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。

8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

8.2 工作场所监测

8.2.1 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 7.3.9 的内容。

表 7.3.9 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装表面，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）

8.3 环境监测

开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

8.4 个人剂量监测

8.4.1 核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。

8.4.3 个人剂量档案应按要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。

7.3.3 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对

独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7.3.10，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见表 7.3.11~7.3.13。

表 7.3.10 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

表 7.3.11 核医学工作场所分类一览表

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

注：1) 加权活度= (计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子)/操作性质修正因子；

表 7.3.12 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm、 ²²³ Ra*	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ^{113m} In、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ^{81m} Kr、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

注：鉴于核素²²³Ra的毒性组别为极毒，故本评价将其毒性权重因子设为100。

表 7.3.13 不同操作性质的修正因子

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

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 7.3.10 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，¹³¹I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.11 药物制备室应安装固定式剂量率报警仪。

5.3 工作场所的防护水平要求

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

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品，其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5 mmPb，个人防护用品及去污具体配置见表 7.3.14；对操作…… ^{131}I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

表 7.3.14 个人防护用品、应急及去污用品

	场所类型	工作人员		患者或受检者
		必备	选备	
个人防护用品	普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	-
	^{131}I 的场所	放射性污染防护服	-	-
应急及去污用品	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、去污剂和/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、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。			
注：“-”表示不要求，宜使用非铅防护用品。				

6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽

的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 7.3.3 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7.3.3 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和表 7.3.14 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标

志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

10 ^{131}I 治疗患者住院期间的放射防护要求

10.1 场所放射防护要求

10.1.1 ^{131}I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。

10.1.2 ^{131}I 治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。

10.1.3 ^{131}I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。

10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合 5.3.1 要求。

10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ^{131}I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

10.1.7 施用了 ^{131}I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。

10.1.10 在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。

10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 宜订购按照患者人份分装的 ^{131}I 药物，如果需要分装，则应配备分装防护通风橱，宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

10.2.7 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防护用品。

10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，按照7.2的要求进行出院管理。

10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。

7.3.4 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

7.1 一般要求

7.1.2 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

7.2 放射性废液

7.2.1 操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相关控制应遵循GB 18871-2002的要求；不允许利用生活污水下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

7.2.4 使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。

7.3 放射性固体废物

7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控

水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

7.3.5 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7.3.15 的规定。

表 7.3.15 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d (m ²)	机房内最小单边长度 ^e (m)
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

^b单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。
^d机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。
^e机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7.3.16 的规定。

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7.3.16 的要求。

表 7.3.16 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

设备类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 型臂	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CI 模拟定位机房	2.5	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

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

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7.3.17 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7.3.17 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
CT 体层扫描（隔室）	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	——
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——

注 1：“——”表示不做要求。
注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

7 X 射线设备操作的防护安全要求

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

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

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

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

7.8.4 穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合 GBZ 128 的规定。

7.3.6 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）

4.1 污水排放要求

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 7.3.18 的规定。直接排放或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7.3.18 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	粪大肠菌群数（MPN/L）	500	5000
2	pH	6~9	
3	化学需氧量（COD）浓度（mg/L）	60	250
	最高允许排放负荷（g/床位）	60	250
4	氨氮（mg/L）	15	-
5	动植物油（mg/L）	5	20
6	总 α （Bq/L）	1	1
7	总 β （Bq/L）	10	10

本项目衰变池排放放射性污水，2 套衰变池排放口均执行“总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ”的要求。

7.3.7 其他相关环保标准

（1）《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）

施工期大气污染物执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表 2 中的标准，标准限值见表 7.3.19。

表 7.3.19 大气污染物排放限值（摘录）

序号	污染物	无组织排放浓度限值	
		监控点	浓度（mg/m ³ ）
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0

（2）《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）

项目施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011），标准限值见表 7.3.20。

表 7.3.20 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）

昼间	夜间
70	55

表 8 环境质量和辐射现状

为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，本次评价委托厦门亿科特检测技术有限公司分别于 2023 年 2 月 24 日和 4 月 14 日对本项目工作场所及其周围环境进行 γ 辐射剂量率背景水平调查；于 2023 年 2 月 24 日对本项目周边土壤进行采样，并委托中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心对土壤总放射性活度进行检测。

8.1 项目的地理和场所位置

福建省立医院南院位于福建省福州市仓山区金榕南路 516 号，本项目位于院区中部的医技及门急诊楼（二期）1 楼的东侧以及 3 楼的北侧和东北侧。项目北侧为院内道路、感染性疾病大楼（二期），东侧为院内道路、医技及门急诊楼（一期）、住院部（一期），南侧为院内道路、住院部（二期）、动力设备中心（一期）以及动力设备中心（二期），西侧为院内道路。

项目地理位置见图 1.5-1，周边环境情况见图 1.5-2，本项目所在楼层情况见图 1.5-4 和 1.5-7。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 周围 γ 辐射空气吸收剂量率

(1) 现状评价的对象：本项目工作场所及周围环境辐射水平。

(2) 监测因子： γ 辐射剂量率。

(3) 监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中有关布点原则和方法，以本项目工作场所为中心，半径 50~300m 以内布置 γ 辐射监测点位。本次评价结合项目的实际情况，对项目所在辐射工作场所周围布置 30 个监测点位，见表 8.2.1 和图 8.2-1~图 8.2-7 所示。

表 8.2.1 γ 辐射剂量率背景水平调查点位及检测结果一览表

点位	位置	检测值 (nGy/h)
1#	医技及门急诊楼 (二期) 1 楼 SPECT/CT 机房	***
2#	医技及门急诊楼 (二期) 1 楼 SPECT 区域患者走道	***
3#	医技及门急诊楼 (二期) 1 楼分装注射室	***
4#	医技及门急诊楼 (二期) 1 楼候诊区	***
5#	医技及门急诊楼 (二期) 1 楼甲癌治疗区域患者走道	***
6#	医技及门急诊楼 (二期) 1 楼西侧走廊	***
7#	医技及门急诊楼 (二期) 负 1 楼室内停车场 (核医学科正下方)	***
8#	医技及门急诊楼 (二期) 负 1 楼衰变池区域	***
9#	医技及门急诊楼 (二期) 2 楼北侧走廊 (核医学科正上方)	***
10#	医技及门急诊楼 (二期) 2 楼更衣室 (核医学科正上方)	***
11#	医技及门急诊楼 (二期) 2 楼示教室 (核医学科正上方)	***
12#	医技及门急诊楼 (二期) 2 楼南侧走廊 (核医学科正上方)	***
13#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR10	***
14#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR10 北侧控制室	***
15#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR10 东侧走廊	***
16#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR10 南侧手术室 OR11	***
17#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR10 西侧走廊	***
18#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR16	***
19#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR16 北侧污物通道	***
20#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR16 东侧预处置间	***
21#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR16 南侧走廊	***
22#	医技及门急诊楼 (二期) 3 楼手术室 OR16 西侧控制室	***
23#	医技及门急诊楼 (二期) 2 楼候诊室 (手术室 OR10 正下方)	***
24#	医技及门急诊楼 (二期) 2 楼办公通道 (手术室 OR16 正下方)	***
25#	医技及门急诊楼 (二期) 4 楼净化机房 (手术室 OR10 正上方)	***
26#	医技及门急诊楼 (二期) 4 后勤办公室 (楼手术室 OR16 正上方)	***
27#	项目北侧院内道路	***
28#	项目东侧院内道路	***
29#	项目南侧院内道路	***
30#	项目西侧院内道路	***

注：检测方式为巡测，该方向巡测中的最大检测数值；监测点位离地高度为 1.0m，监测点位地面材质为混凝土；表中检测结果均为扣除宇宙射线响应值。

(4) 检测方法、检测仪器及检测条件

本次 γ 辐射剂量率检测方法依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) 以及《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)。

本次 γ 辐射剂量率检测仪器为 SIM-MAX G3140 型环境级 X、 γ 剂量当量 (率)

仪，仪器参数见表 8.2.2。

表 8.2.2 γ 辐射剂量率背景水平检测使用的仪器、参数及检测条件

仪器名称	环境级 X、 γ 剂量当量（率）仪
仪器型号	SIM-MAX G3140 型
出厂编号	XMYKT/JLYQ-0067
校准因子	0.95（1 μ Sv/h）
测量范围	10nSv/h~100mSv/h
能量响应范围	20keV~7MeV
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书编号	2022H21-20-4300050001
有效日期至	2023 年 11 月 30 日
检测条件	2023 年 2 月 24 日，监测环境条件：22.8℃/53.9%RH； 2023 年 4 月 14 日，监测环境条件：23.1℃/53.6%RH

8.2.2 土壤总放射性活度

（1）现状评价的对象：本项目工作场所周围土壤总放射性活度水平。

（2）监测因子：总 α 和总 β 。

（3）监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）要求，以本项目工作场所为中心，半径 50~300m 以内布置土壤监测点位。本次评价在医技及门急诊楼（一期）西南侧花圃内设置了 1 个土壤总放射性活度监测点，见表 8.2.3 和图 8.2-9 所示。

表 8.2.3 土壤中总放射性活度水平调查点位及检测结果一览表

点位	位置	总 α (Bq/kg)	总 β (Bq/kg)
T1	医技楼（一期）西南侧花圃	***	***

（4）检测方法、检测仪器及检测条件

本次土壤总放射性活度检测方法依据《水中总 α 放射性浓度测定 厚源法》（EJ/T1075-1998）以及《水中总 β 放射性测定 蒸发法》（EJ/T 900-1994）。

本次土壤总放射性活度检测仪器为 LB770 型低本底 α/β 测量仪，仪器参数见表 8.2.4。

表 8.2.4 土壤中总放射性活度水平调查检测使用的仪器、参数及检测条件

仪器名称	低本底 α/β 测量仪
仪器型号	LB770
生产厂家	德国伯托
测量模式	流气式正比计数器
效率	总 α : 0.0472; 总 β : 0.460
探测器有效面积	28.26cm ²
工作温度	23.0℃
工作湿度	40%
检定单位	中国辐射防护院放射性计量站
检定证书编号	检字第[2022]-DD006
有效日期	2024 年 3 月 4 日

8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下:

(1) 监测单位: 公司均已通过资质认定, 其中厦门亿科特检测技术有限公司的 CMA 编号: 151303100027, 中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心的 CMA 编号: 220012341390;

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

(3) 厦门亿科特检测技术有限公司的监测仪器于 2022 年 12 月 1 日通过上海市计量测试技术研究院检定, 证书编号: 2022H21-20-4300050001, 检定有效期一年, 监测期间监测仪器处于有效期内。中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心的监测仪器于 2022 年 3 月 3 日通过中国辐射防护院放射性计量站检定, 证书编号: 检字第[2022]-DD006, 检定有效期两年, 监测期间监测仪器处于有效期内;

(4) 测量前、后均检查仪器的工作状态良好, 并用检验源对仪器进行校验;

(5) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准, 监测人员经考核并持有合格证书上岗;

(6) 监测现场由专业人员按照操作规程操作监测仪器, 并认真做好记录;

(7) 厦门亿科特检测技术有限公司和中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心的检测报告均严格实行三级审核制度, 经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

8.4 监测结果及评价

监测结果详见表 8.2.1 和表 8.2.3，检测报告见附件 10。

从表 8.2.1 可知，在 6 号楼内各类放射源及射线装置正常运营时，本项目位于室内的点位（1#~26#） γ 辐射剂量率在***~***nGy/h 之间，位于室外的点位（27#~30#） γ 辐射剂量率在***~***nGy/h 之间，本项目所在地及工作场所的 X- γ 辐射剂量率处于正常环境本底水平。

此外，根据表 8.2.3 监测结果显示，本次土壤总放射性活度监测点的总 α 和总 β 均处在 1983-1990 年全国环境天然放射性水平调查结果范围内，未见异常。

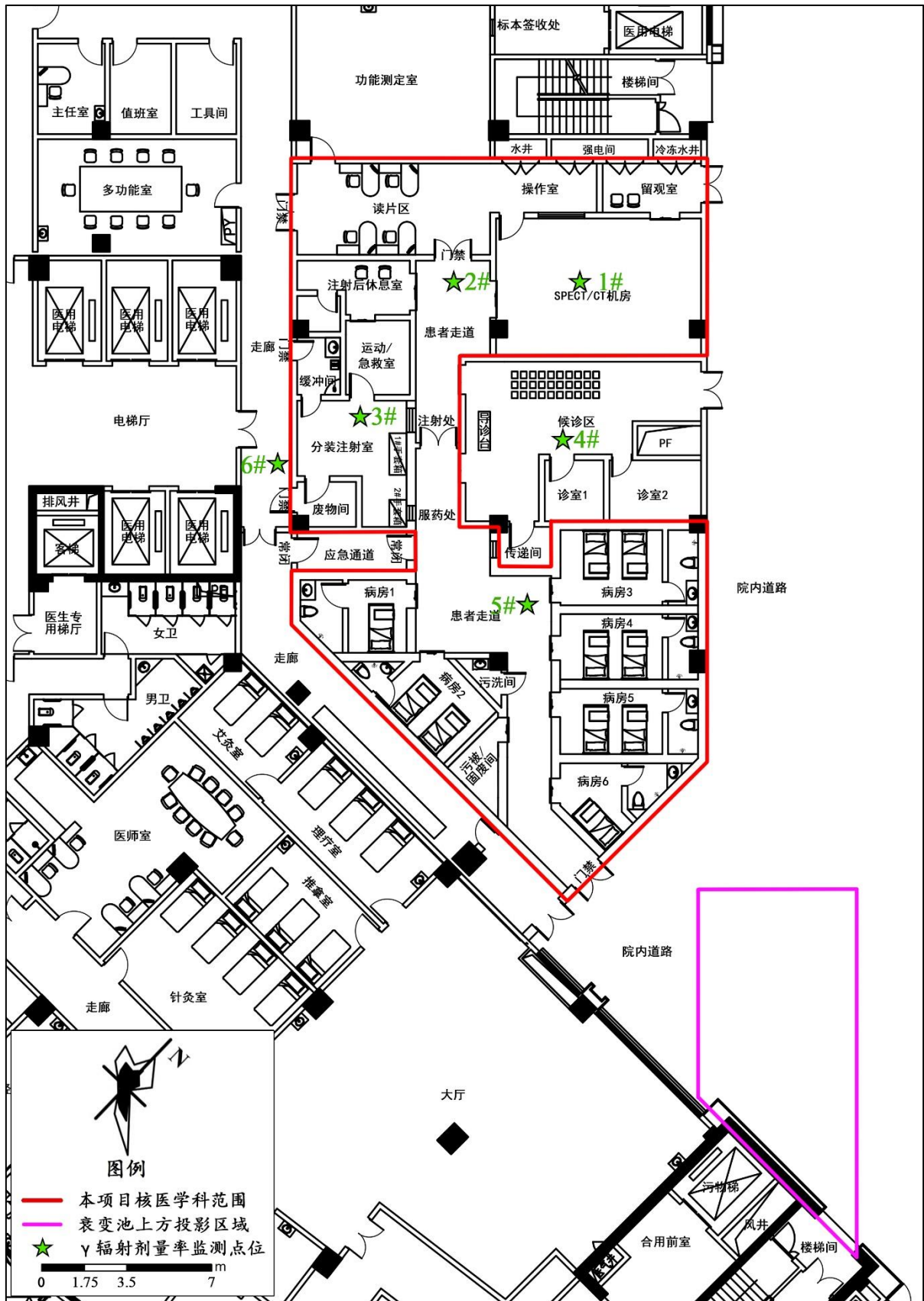


图 8.2-1 医技及门急诊楼（二期）1 楼 γ 辐射剂量率监测点位图（核医学科处）

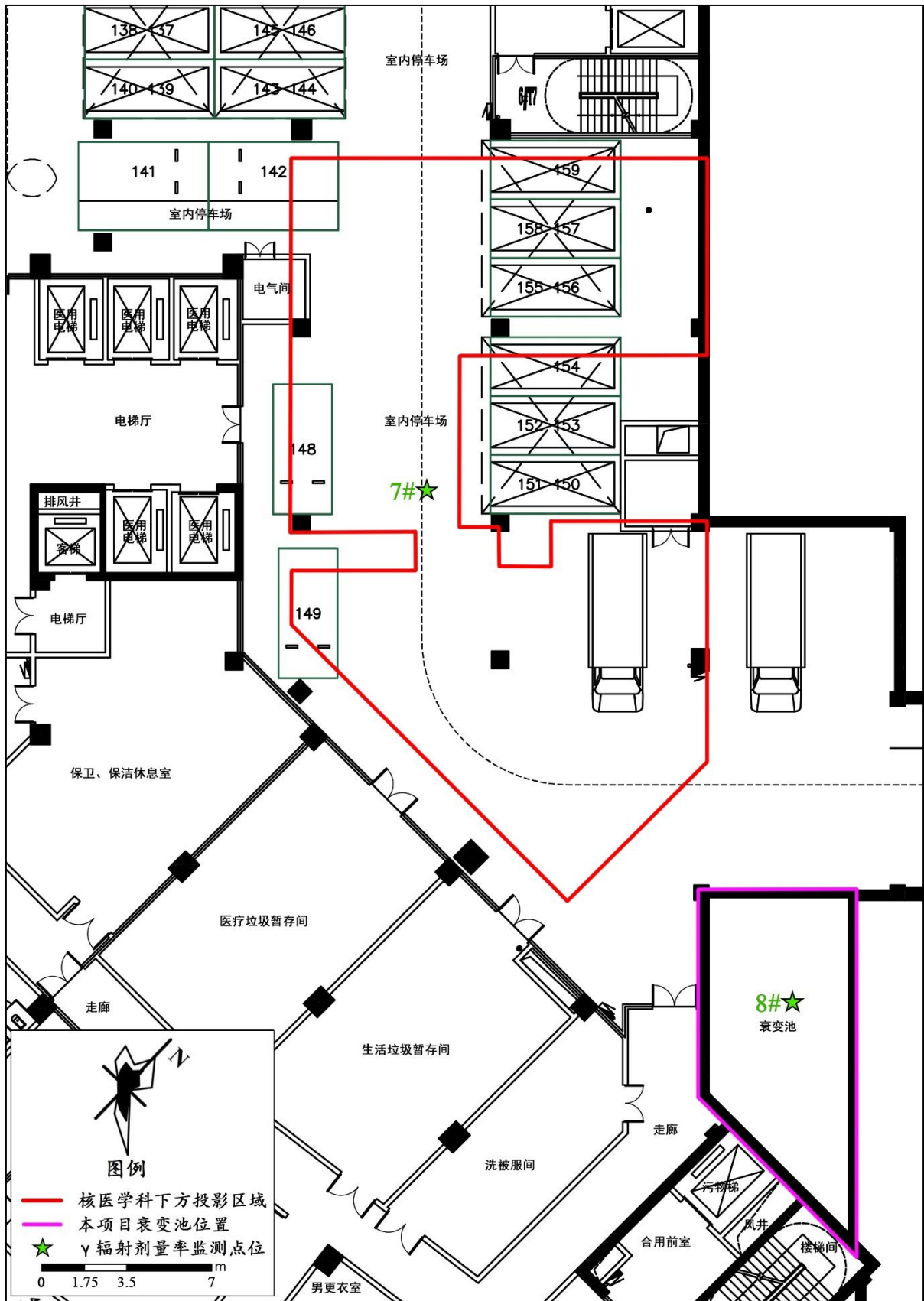


图 8.2-2 医技及门急诊楼（二期）负 1 楼 γ 辐射剂量率监测点位图（核医学科下方）

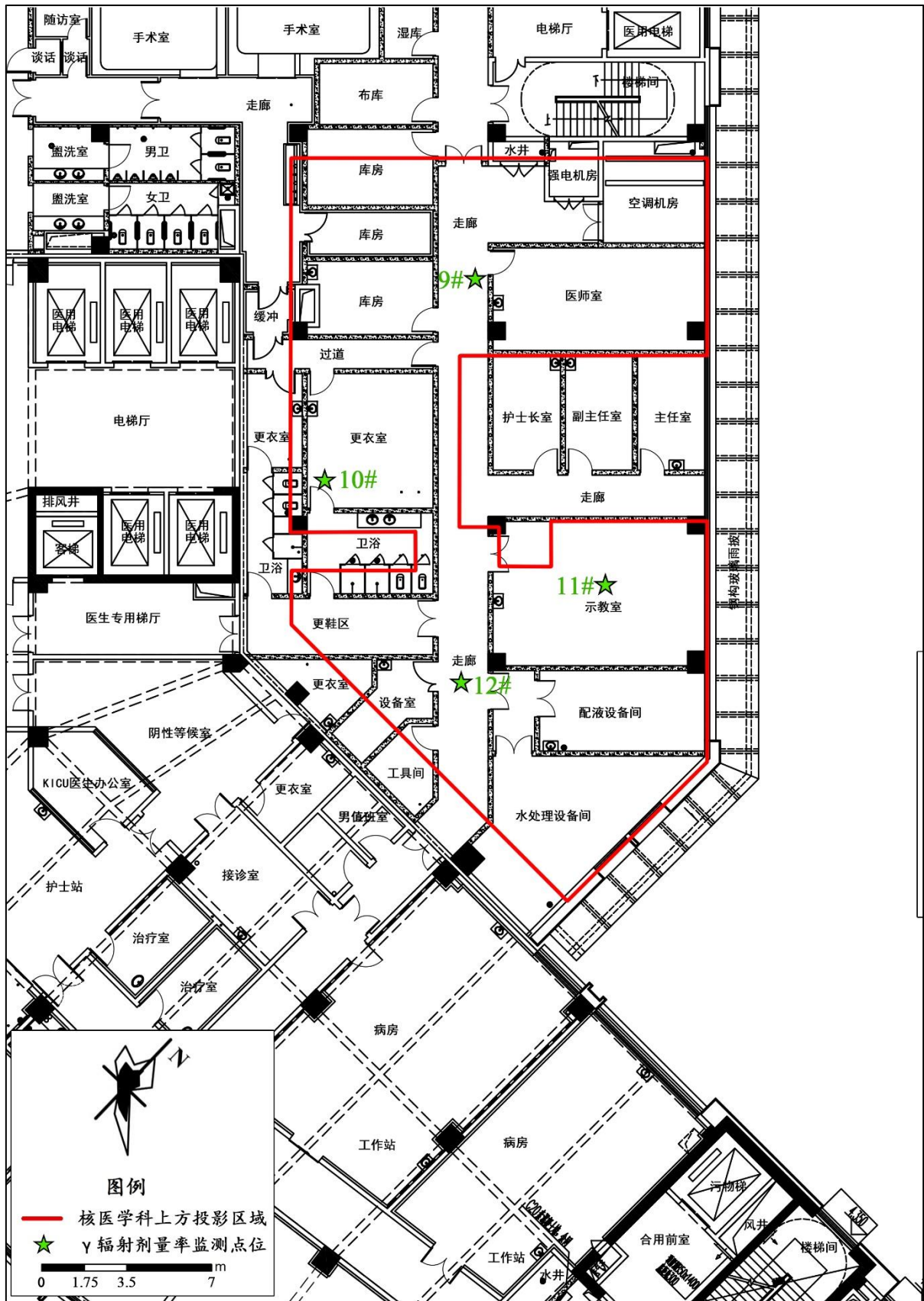


图 8.2-3 医技及门急诊楼（二期）2 楼 γ 辐射剂量率监测点位图（核医学科上方）



图 8.2-4 医技及门急诊楼（二期）3 楼 γ 辐射剂量率监测点位图（DSA 机房处）

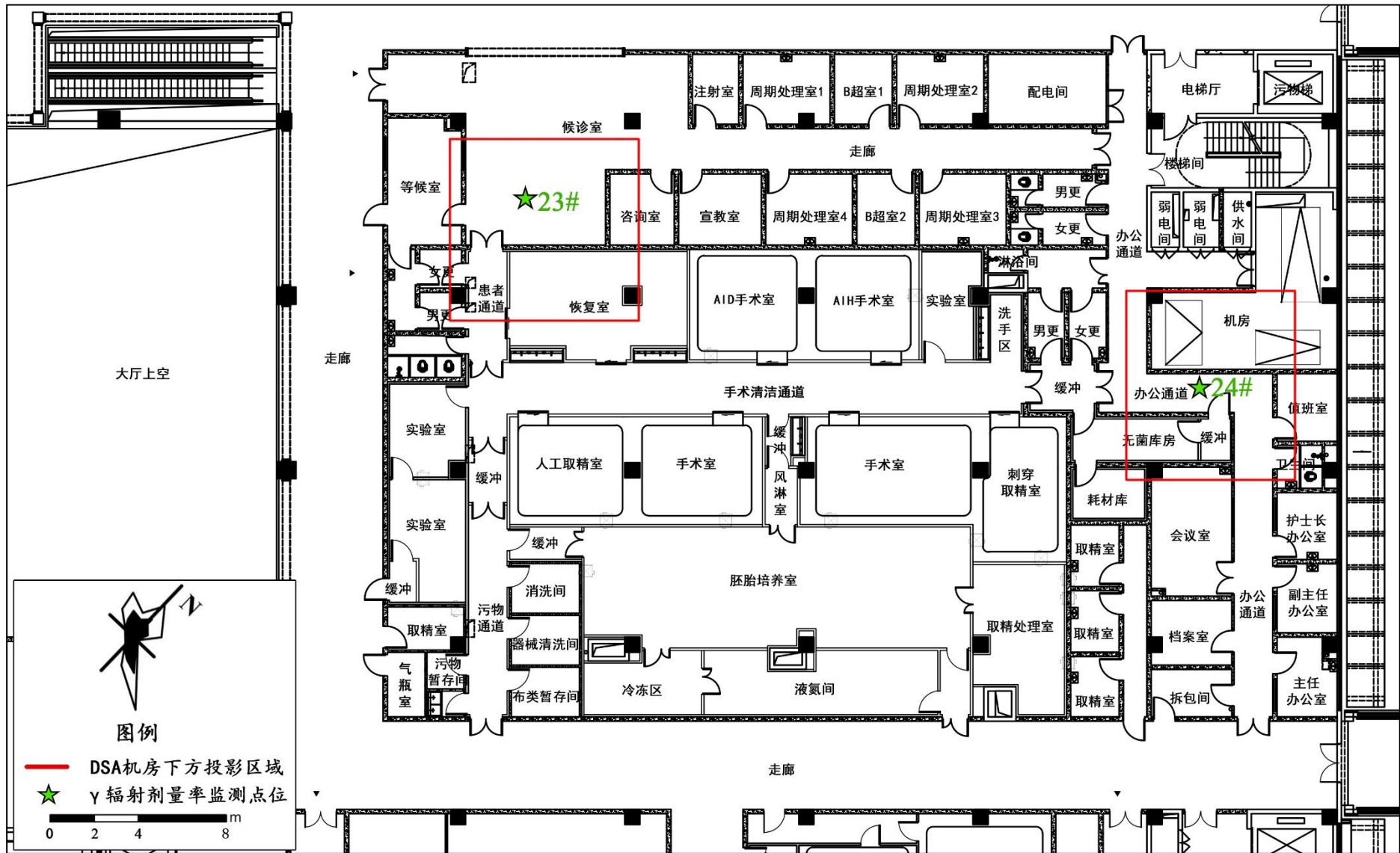


图 8.2-5 医技及门诊楼（二期）2 楼 γ 辐射剂量率监测点位图（DSA 机房下方）



图 8.2-6 医技及门急诊楼（二期）4 楼 γ 辐射剂量率监测点位图（DSA 机房上方）

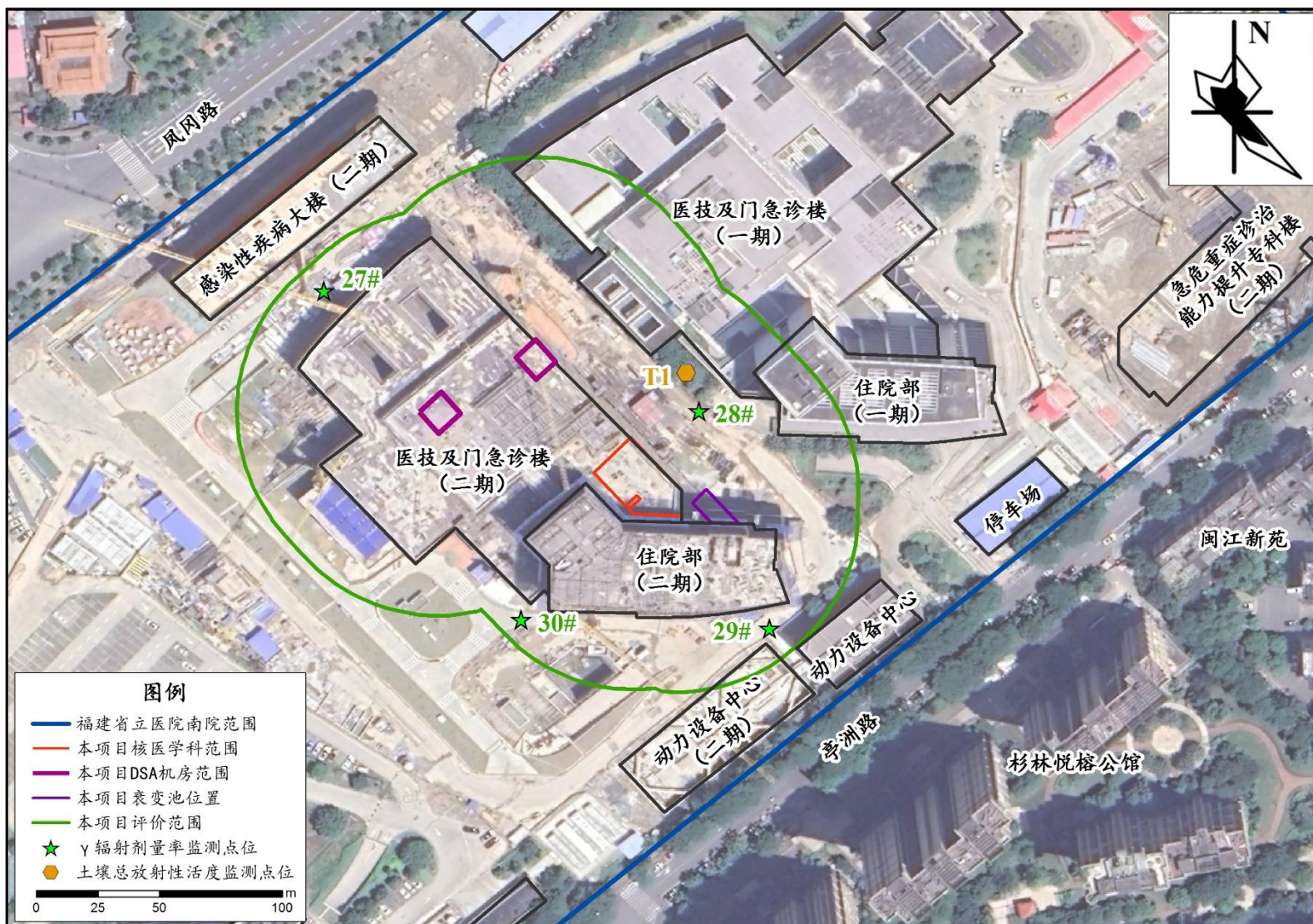


图 8.2-7 福建省立医院南院外环境监测点位分布图

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 ^{89}Sr 核素治疗工作原理、工艺流程

9.1.1.1 工作原理

^{89}Sr 药物主要用于缓解前列腺癌、乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤骨转移所致骨痛，用于治疗肿瘤转移的放射性药物都是趋骨性的，骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。骨肿瘤病灶部位由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的 ^{89}Sr 药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚 ^{89}Sr 药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的 ^{89}Sr 药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。骨肿瘤病灶浓聚的放射性药物靶/非靶比值很高， ^{89}Sr 药物衰变过程中发射 β 射线，辐射作用引起肿瘤组织内毛细血管扩张、水肿，细胞结构不清；染色体淡或固缩，炎细胞浸润，进一步肿瘤细胞核消失或空泡形成，坏死或纤维化形成，从而治疗骨肿瘤。

本项目涉及的放射性治疗核素 ^{89}Sr 特性见表 9.1.1。

表 9.1.1 本项目核素 ^{89}Sr 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 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{89}Sr	50.53d	β^-	0.5846	-	-

9.1.1.2 工艺流程分析

- ① 根据需要，医院对接受 ^{89}Sr 药物治疗的患者进行预约登记，确定用药量。
- ② 向有资质的供货商订购已分装的 ^{89}Sr 药物针剂（储存在 20mmPb 的储药箱内）送至医院医技及门急诊楼（二期）1 楼核医学科的分装注射室内。
- ③ 根据患者用药量，在核医学科分装注射室的 1#手套箱内进行药物分装。患者按约定时间在核医学科候诊区准备和等候；叫号后，准备好的患者在注射处的注射窗口接受注射，医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品从贮药罐内取出患者的药物针剂，用一次性注射器通过注射台为患者注射药物。
- ④ 患者注射后如无异常即可离开核医学科。

9.1.2 ²²³Ra 核素治疗工作原理、工艺流程

9.1.2.1 工作原理

²²³Ra 是针对前列腺癌、乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤骨转移的放射性药物，相较于传统放射性较高的药物，在辐射方面的安全性相当高，药物对骨髓和其他正常组织影响较低，避免影响造血功能，使患者出现与骨骼相关副作用如骨折、骨痛等的机会更小，存活期更长，能有助于提升患者的生活质量。²²³Ra 衰变过程中发射 α 射线，促使骨转移部位的肿瘤细胞双链 DNA 发生断裂，从而治疗骨肿瘤。α 射线能量散失较快，穿透能力在众多电离辐射中是最弱的，人类的皮肤或一张纸已能阻隔 α 射线，这限制了其对周围正常组织的损坏。

本项目涉及的放射性治疗核素 ²²³Ra 特性见表 9.1.2。

表 9.1.2 本项目核素 ²²³Ra 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 (裸源) (μSv·m ² ·MBq ⁻¹ ·h ⁻¹)
²²³ Ra	11.44d	α	5.8713 (α) , 0.4270 (β)	0.0117, 0.0838, 0.2695	-

9.1.2.2 工艺流程分析

- ① 根据需要，医院对接受 ²²³Ra 药物治疗的患者进行预约登记，确定用量。
- ② 向有资质的供货商订购已分装的 ²²³Ra 药物针剂（储存在 20mmPb 的储药箱内）送至医院医技及门急诊楼（二期）1 楼核医学科的分装注射室内。
- ③ 根据患者用量，在核医学科分装注射室的 1#手套箱内进行药物分装。患者按约定时间在核医学科候诊区准备和等候；叫号后，准备好的患者在注射处的注射窗口接受注射，医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品从贮药罐内取出患者的药物针剂，用一次性注射器通过注射台为患者注射药物。
- ④ 患者注射后如无异常即可离开核医学科。

9.1.3 SPECT/CT 工作原理、工艺流程

9.1.3.1 工作原理

SPECT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备，其工作原理是利用仪器探测人体内同位素的动态分布而成像，特点是可做功能、代谢方面的影像观

察。SPECT 不仅能显示二维平面图像，更主要的还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕病人某一脏器进行 360° 旋转的 γ 相机，在旋转时每隔一定角度（3° 或 6°）采集一帧图片，然后经电子计算机自动处理，将图像叠加，并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或不同方位的断层和切面图像，利用专用的核医学应用软件，对断层图像和数据做进一步的分析处理，为核医学医生提供更多更精确的信息和定量分析的数据，从而极大地提高了诊断的灵敏度和准确性。

CT 为采用 X 射线进行扫描的技术设备，设备中产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成（详见图 9.1-1），阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

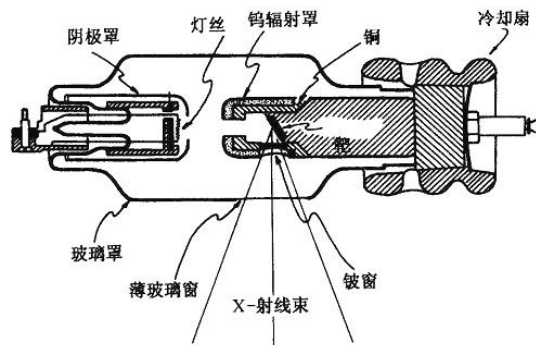


图 9.1-1 X 射线管结构原理图

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



图 9.1-2 SPECT/CT 设备照片

本项目 SPECT/CT 装置采用单光子核素 ^{99m}Tc 进行显像，本项目单光子核素特性见表 9.1.3。

表 9.1.3 本项目核素 ^{99m}Tc 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 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	-	0.140	0.0303

9.1.3.2 工艺流程分析

- ① 根据需要，医院对接受显像检查的患者进行预约登记，确定用量。
- ② 向有资质的供货商订购已分装的 ^{99m}Tc 药物针剂（储存在 20mmPb 的储药箱内）送至医院医技及门急诊楼（二期）1 楼核医学科的分装注射室内。
- ③ 根据患者用量，在核医学科分装注射室的 1#手套箱内进行药物分装。患者按约定时间在核医学科候诊区准备和等候；叫号后，准备好的患者在注射处的注射窗口接受注射，医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品从贮药罐内取出患者的药物针剂，用一次性注射器通过注射台为患者注射药物。
- ④ 患者进入注射后休息室候诊。
- ⑤ 患者进入 SPECT/CT 机房接受检查。
- ⑥ 检查完成，患者在留观室休息一段时间后离开核医学科。

SPECT/CT 项目整体工艺及操作流程见图 9.1-3。

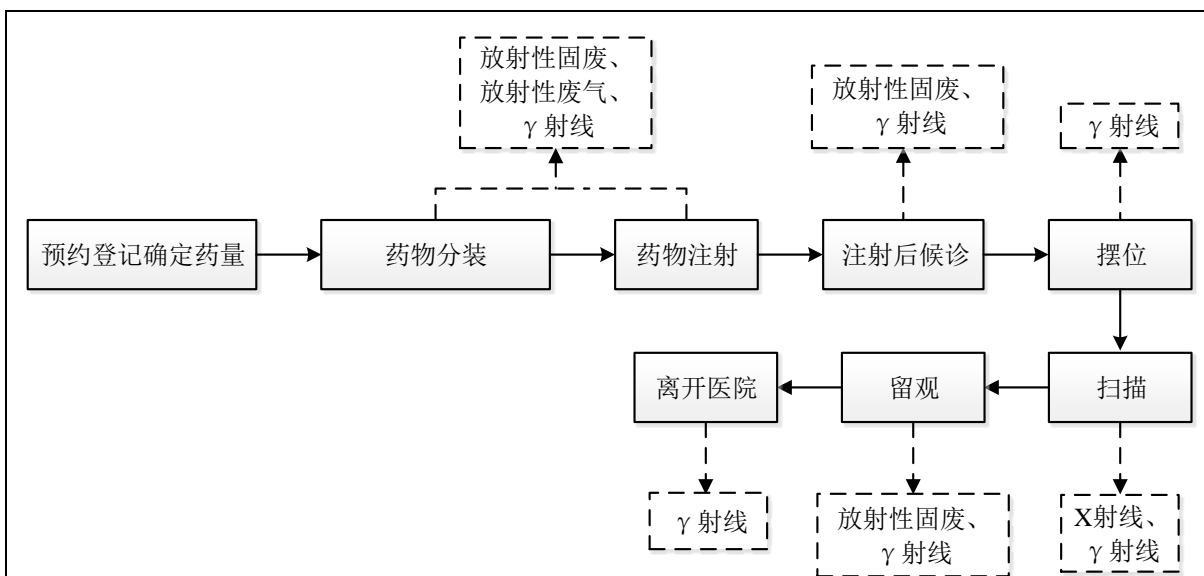


图 9.1-3 SPECT/CT 项目诊断操作流程示意及产污环节图

9.1.3.3 SPECT 区域人员配备、治疗规模及工作负荷

(1) 人员配备情况

^{89}Sr 和 ^{223}Ra 核素治疗、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素诊断均在项目核医学科北部的 SPECT 区域内进行。SPECT 区域拟安排辐射工作人员 6 人：负责分装、注射的核素操作人员 2 人，负责扫描、摆位的 SPECT/CT 操作人员 4 人；本项目 SPECT 区域的工作人员工作制度为两班制，工作时间为年诊疗时间的 1/2。

(2) 诊疗规模和工作负荷

由医院提供资料可知，本项目 SPECT 区域核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 预计诊疗规模（最大注射量对应人数）如表 9.1.4 所示，SPECT 区域各流程所需的时间如表 9.1.5 所示。

表 9.1.4 本项目核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 预计诊疗规模

序号	核素名称	单人最大剂量 (MBq/人)	诊疗规模 (人)			备注
			单日最大诊疗人数	单月最大诊疗人数	年最大诊疗人数	
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	740	30	690	7500	每周诊断 5 天， 每年 50 周
2	^{89}Sr	148	2	20	200	每周治疗 2 天， 每年 50 周
3	^{223}Ra	3.7	3	30	300	

表 9.1.5 本项目 SPECT 区域各流程所需的时间

区域	核素	时长 (min)						
		分装	取药	注射	注射后休息	摆位	扫描	留观
SPECT 区域	^{99m} Tc	1	1	0.5	10	1	10	15
	⁸⁹ Sr	1	1	0.5	/	/	/	5
	²²³ Ra	1	1	0.5	/	/	/	5

9.1.4 甲癌治疗工作原理、工艺流程

9.1.4.1 工作原理

I 是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过 Na/I 共转因子克服电化学梯度从血循环中浓聚 ¹³¹I。因此，甲状腺疾病患者口服的 ¹³¹I 药剂大都聚集在甲状腺内；¹³¹I 衰变发射的 β 射线在组织内平均射程仅为 1mm，因此 β 粒籽的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，对甲状腺周围的组织和器官影响较小。对于甲癌患者，给予大剂量 ¹³¹I，能够消除手术残留的甲状腺组织，减少复发和转移；¹³¹I 治疗后，随访变得十分容易和灵敏可靠，测量血里的甲状腺球蛋白 (Tg) 及 B 超、X 线检查就可以监测有无复发和转移；¹³¹I 治疗甲状腺癌转移灶具有高度的靶向性，副作用小，效果好。

本项目涉及的放射性治疗核素 ¹³¹I 特性见表 9.1.6。

表 9.1.6 本项目核素 ¹³¹I 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	周围剂量当年率常数 (裸源) (μSv·m ² ·MBq ⁻¹ ·h ⁻¹)
¹³¹ I	8.02d	β ⁻ (100)	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595

9.1.4.2 工艺流程分析

① 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，并进行治疗前准备：停用抗甲状腺药物 2 周以上，低碘饮食 4 周，并进行相关检查和甲状腺 ¹³¹I 摄取率测定等。

② 根据患者甲状腺的相关情况等制定治疗剂量方案。

③ 向有资质的供货商订购已分装的 ¹³¹I 药物针剂（储存在 30mmPb 的储药箱内）送至医院医技及门急诊楼（二期）1 楼核医学科的分装注射室内。

④ 医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品，将铅罐装入分装注射室 2# 手套箱内的自动分装仪中，并通过电脑控制完成单个患者的药物分装及活度测量。患

者按约定时间在核医学科候诊区准备和等候；叫号后，准备好的患者在服药处空腹口服 ^{131}I 。由于治疗甲癌的 ^{131}I 药物剂量较大，必须住院治疗，直到体内 ^{131}I 活度降低到 400MBq 以下，方可出院。每周所有病人出院后，工作人员进入甲癌治疗区域进行清洁工作，并将甲癌患者使用过的被服置于污被/固废间内的被服柜中存放衰变至少 1 个半衰期后再进入污洗间内进行清洗。

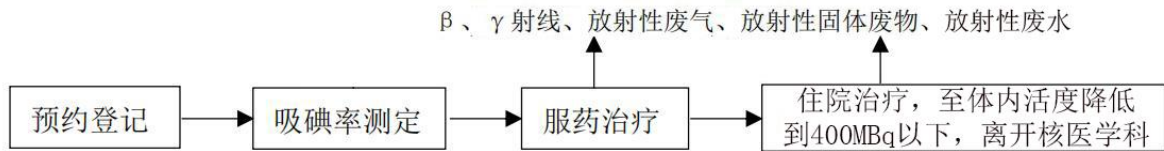


图 9.1-4 甲癌治疗操作流程示意及产污环节图

9.1.4.3 甲癌治疗区域人员配备、治疗规模及工作负荷

(1) 人员配备情况

甲癌治疗在项目核医学科南部的甲癌治疗区域内进行。本项目甲癌治疗区域拟安排辐射工作人员 4 人，主要负责自动分装的操作和观察病人服药；本项目甲癌治疗区域的工作人员工作制度为两班制，工作时间为年治疗时间的 1/2。

(2) 治疗规模和工作负荷

由医院提供资料可知，本项目甲癌治疗区域核素 ^{131}I 预计治疗规模（最大服药量对应人数）如表 9.1.7 所示， ^{131}I 自动分装时间约 1min/次，患者服药时间约 30s/人，患者住院期间每次取餐时间 30s/人。

表 9.1.7 本项目核素 ^{131}I 预计治疗规模

序号	核素名称	单人最大剂量 (MBq/人)	治疗规模 (人)			备注
			单日最大治疗人数	单月最大治疗人数	年最大治疗人数	
1	^{131}I	7400	5	40	480	每周接受患者 2 批次（每周一、二），每月 8 批次，每年 96 批次，每批次治疗时间为 5 天

9.1.5 DSA 工作原理、工艺流程

9.1.5.1 工作原理

数字平板减影血管造影机 (DSA) 是利用 X 射线技术和造影剂，清晰显示血管影像，是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法。它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，先进行第一次成像，用计算机将图像转换成数字信号储存起来；注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同

的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。主要用于心脏、脑血管、外周血管的造影诊断及介入治疗，是心血管造影诊断及介入治疗的专用血管造影机。

9.1.5.2 设备组成

DSA 主要由机架、导管床、高压发生器、X 线球管、影像增强器、电视摄像系统、影像数字处理系统、图像显示和外部数据存储等部分组成。设备结构见图 9.1-5。



图 9.1-5 DSA 设备结构图

9.1.5.3 工艺流程分析

介入放射手术的主要工作流程如下：

- ① 根据预约接诊患者，医护人员做好手术前洁净准备，并穿戴好防护用品；
- ② 根据患者检查部位，选择合适的曝光条件进行影像采集；
- ③ 医生在透视条件下插入导管，注入造影剂进行检查或进行介入治疗；
- ④ 注入造影剂后需再次进行影像采集，影像采集或介入治疗完成后由工作人员协助患者离开介入手术室。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况：透视。病人需要进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜等防护措施在机房内对病人进行直接的介入手术操作。

第二种情况：摄影。医技在控制室内对病人进行曝光（隔室操作），通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。一般用于介入手

术期间的图像保存及单独的血管造影拍片，占 DSA 实际工作中的时间比例较小。

工作流程及产污环节见图 9.1-6。

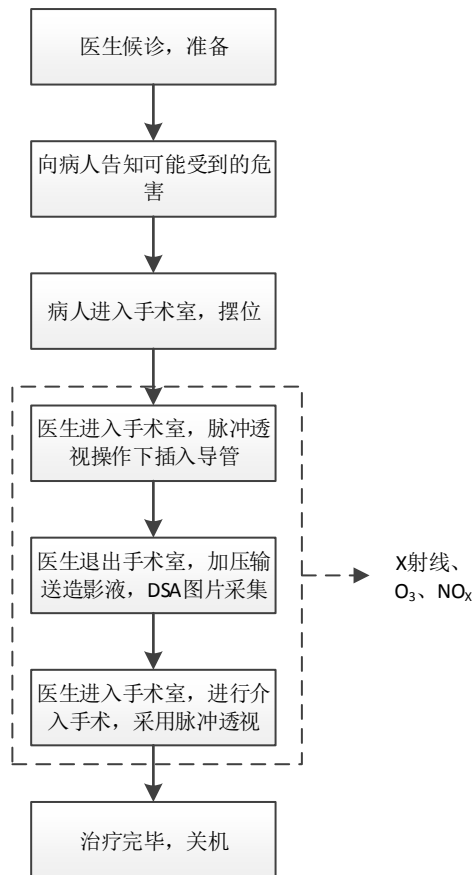


图 9.1-6 DSA 工作流程图及产污环节

9.1.5.4 DSA 项目人员配备及工作负荷

(1) 人员配备情况

本项目 2 台 DSA 分别位于医技及门急诊楼（二期）3 楼北侧的手术室 OR10 和 3 楼东北侧的手术室 OR16。每间手术室均拟安排辐射工作人员 10 人，其中手术室内医生、护士为 6 人，采取轮岗的形式进行检查和手术，单名医生、护士年最大手术台数为 1000 台；控制室内辐射工作人员 4 人，工作制度为两班制。

(2) 工作负荷

根据建设单位提供的资料，每台 DSA 工作量为 8 人/d，每周工作 5d，每年工作 50 周，每台手术平均透视 15min（0.25h）、摄影 3min（0.05h），则每台 DSA 年透视工作时间为 500h、年摄影工作时间为 100h。

9.1.6 人流和物流的路径规划

9.1.6.1 核医学科项目人流和物流的路径规划

本项目核医学科 SPECT 区域和甲癌治疗区域内人流和物流的具体路线见图 9.1-7。

1) 人流

①医护人员

SPECT/CT 操作人员：经核医学科西侧走廊向南，通过读片区的门禁验证后，向东进入操作室进行设备操作，由操作室南侧防护门进入 SPECT/CT 机房进行摆位指导，工作结束后按原路返回。

SPECT 区域核素操作人员：经核医学科西侧走廊向南，通过缓冲间的门禁验证后，向南进入分装注射室，在 1#手套箱内进行药物分装等操作，取药后通过注射窗口完成药品注射，工作结束后按原路返回。

甲癌治疗区域核素操作人员：经核医学科西侧走廊向南，通过缓冲间的门禁验证后，向南进入分装注射室，通过控制系统在 2#手套箱内进行药物自动分装等操作，工作结束后按原路返回。

②患者

^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 患者：在核医学科东侧候诊区候诊，叫号后，由西北门进入 SPECT 区域的注射处， ^{99m}Tc 患者注射后向北，经患者通道进入注射后休息室候诊，随后根据工作人员叫号，由 SPECT/CT 机房西门进入进行检查，检查后向北进入留观室，在留观室留观无异常，由留观室东门离开核医学科； ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 患者注射后如无异常，直接经过患者通道、SPECT/CT 机房后，由留观室东门离开核医学科。

^{131}I 患者：在核医学科东侧候诊区候诊，叫号后，由西南门进入甲癌治疗区域的服药区，服药后向南，经患者通道进入甲癌病房接受住院治疗，经检查直到体内 ^{131}I 活度降低到 400MBq 以下，向南离开核医学科。

2) 物流

①药流

本项目核医学科的药物经核医学科西侧走廊向东，通过废物间的门禁验证后，向北直接进入分装注射室。

②放射性废物

SPECT 区域的放射性废物：分装注射室、注射区、注射后休息室、留观室内均设置衰变桶，各场所产生放射性固体废物先暂存于各场所衰变桶内，在当日工作结束后由 SPECT 区域工作人员收集至分装注射室的废物间内。含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性固体废物应与含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物分开收集，其中含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物贮存衰变至少 30 天，含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性固体废物贮存衰变至少 10 个半衰期，待其放射性活度检测结果低于国家放射性固体废物豁免标准以后，交由有资质单位处理。剩余的 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物收集至铅罐中，并暂存于分装注射室的 1#手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收。以上 SPECT 区域的放射性废物均通过核医学科西侧走廊向南运出核医学科。

甲癌治疗区域的放射性废物：甲癌治疗区域的服药区和各甲癌病房内均设置衰变桶，各场所产生放射性固体废物先暂存于各场所衰变桶内，在每周所有患者出院后，收集至甲癌治疗区域的污被/固废间内贮存衰变至少 180 天，待其放射性活度检测结果低于国家放射性固体废物豁免标准以后，交由有资质单位处理。剩余的 ^{131}I 放射性药物收集至铅罐中，并暂存于分装注射室的 2#手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收。甲癌治疗区域污被/固废间内的放射性废物通过甲癌治疗区域的患者通道向南运出核医学科；剩余的 ^{131}I 放射性药物通过核医学科西侧走廊向南运出核医学科。

本项目核医学科内收集放射性废物的废物袋外表面注明核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，在当日工作结束或甲癌患者出院后运出核医学科；剩余的放射性药物于当日工作结束后，由厂家运出核医学科，而药物均由当日工作开始前运输至核医学科，因此放射性废物路线与患者路线、放射性废物路线与药物路线虽存在共线，但相互间不会产生影响。

根据图 9.1-7 可以看出，本项目核医学科人流和物流的具体路线相对独立，项目核医学科的建设对医技及门急诊楼（二期）内其他项目不会造成影响。此外，医院在本项目控制区内安装监控设备、语音对讲装置，并在项目核医学科医护人员、患者以及药物的各出、入口均设置门禁系统、电离辐射警示牌，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，防止患者诊疗后从入口离开核医学科及无关人员进入。另外，为了进一步杜绝诊疗后患者因行走路线错误对医务人员或者其他患者造成辐射影响，医院在核医学科内设置醒目标识路线及禁止路线，并通过监控和对讲装置引导患者。通过上述措施加强对患者的管理，防止患者之间直接的交叉辐射影响。综上，本项目核医学科的路径规划符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《核

医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的相关路径要求。

9.1.6.2 DSA 项目人流和物流的路径规划

本项目手术室 OR10 和手术室 OR16 均设有独立的人流和物流路线，具体路线见图 9.1-8。

1) 人流

①医护人员

手术室 OR10 医护人员：经手术室 OR10 西侧走廊直接进入控制室，由控制室南侧防护门进入机房，工作结束后按原路返回。

手术室 OR16 医护人员：通过手术室 OR16 南侧走廊直接进入控制室，由控制室东侧防护门进入机房，工作结束后按原路返回。

②患者

手术室 OR10 患者：经手术室 OR10 西侧走廊直接送入机房，手术结束后按原路返回。

手术室 OR16 患者：通过手术室 OR16 南侧走廊直接送入机房，手术结束后按原路返回。

2) 物流

手术室 OR10 污物：由手术室 OR10 东侧防护门进入走廊，后通过北侧污物通道进入污物暂存间。

手术室 OR16 污物：由手术室 OR16 北侧防护门直接通过污物通道进入污物暂存间。

污物暂存间内的废物通过污物通道进入东北侧楼梯间，后由楼梯间北侧门经污物梯运出医技及门急诊楼（二期）。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，项目主要对医技及门急诊楼（二期）1 楼和 3 楼区域进行内部建设、改造、装修以及设备安装，以满足各工作场所的辐射屏蔽防护要求。本项目产生的环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等。本项目工程量较小，没有大型机械设备

进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

(1) 废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，由散装水泥和建筑材料运输等施工活动将产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

(2) 噪声

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输及现场处理等。噪声值一般在65~80dB(A)之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

(3) 废水

施工期用水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。其次，施工期会产生少量施工人员生活污水。

(4) 固体废弃物

本项目主要依托对医技及门急诊楼（二期）主体建筑施工，工程量小，产生的建筑垃圾很少。

9.2.2 运行阶段污染源项

9.2.2.1 非密封放射性物质污染源项及途径

(1) 正常工况

本项目非密封放射性物质污染途径如下：

①放射性药品 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 发射的 β 、 γ 射线，放射性药品 ^{89}Sr 发射的 β 射线及与物质相互作用产生的韧致辐射，放射性药品 ^{223}Ra 发射的 α 射线。

②放射性药品使用过程以及甲癌患者住院期间产生的 β 表面污染。

③诊疗患者摄入药物后，短时间内本身便是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响，主要为摄入 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 药物的患者产生的 γ 射线。

④放射性废气：本项目放射性药品在分装、使用过程中产生微量含 ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 ^{131}I 核素的放射性气溶胶，其中 ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 核素的分装过程均在分装注射室的 1#手套箱内进行， ^{131}I 核素在分装注射室的 2#手套箱内采用仪器自动分装，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

⑤放射性废水：由于 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 核素的使用量极少，且单个患者在 SPECT 区域内停留时间很短，因此不产生含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 放射性废水。项目放射性废水主要为在医院观察期间 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者排泄物、呕吐物和放射性药品操作过程的去污洗涤液，以及甲癌患者在住院期间生活废水和出院后场所的清洁废水。

⑥放射性固体废物：剩余放射性药物、注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性杯子、餐具、工作场所通风系统过滤装置更换下来的废弃活性炭、槽式放射性废液衰变池的污泥等放射性固体废物。

⑦本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素半衰期较短，经过较长的诊断时间，患者出院时体内仅存有微量的放射性核素；项目 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 核素较少，且患者体内存有的放射性核素对周边影响较小；而甲癌患者需体内 ^{131}I 活度需降低到 400MBq （对应 1m 处剂量率 $23.3\mu\text{Gy/h}$ ）以下，方可同意其出院。此外，院方会对每位诊疗患者提供与他人接触的辐射防护书面指导，减少服药患者和受检者亲友受照量，因此本项目患者出院时对公众发射的辐射影响在可接受的范围内。

（2）事故工况

本项目核医学科使用非密封放射性物质事故状态下主要发生的放射性污染有：

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注射器有损漏以及注射针头未安装牢固，造成射线泄漏及放射性核素泼洒或飘逸挥发，操作台面或仪器设备受到放射性沾污。

③放射性药物被盗、丢失等，流失到社会，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

④放射性固体废物未衰变到低水平擅自处理造成环境污染和人员伤害。

9.2.2.2 SPECT/CT 污染源项及途径

X 射线在辐射场中可分为三种射线：由 X 射线管窗口出射的用于诊断检查的有用射线，由 X 射线管防护套泄漏出来的漏射线，以及由上述两种射线在诊断床、受检者身体上产生的散射线。SPECT/CT 在使用过程中产生的主要辐射影响及影响途径如下：

（1）正常工况

在采取隔室操作，设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。CT 球管发射的 X 射线电离空气，会产生少量的臭氧和氮氧化物。

(2) 事故工况

①工作人员在防护门关闭前尚未撤离机房，SPECT/CT 运行可能产生误照射。

②当警示灯、门灯联锁损坏时，公众、检查管理人员或检修维护人员误入正在运行的 SPECT/CT 机房内而受到误照射。

③SPECT/CT 在铅玻璃老化和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。

④在发生事故时，紧急停止开关失灵，给病人及医护人员造成额外的照射。

⑤在治疗结束后，SPECT/CT 设备不能正常停止曝光，给病人及医护人员造成额外的照射。

9.2.2.2 DSA 污染源项及途径

(1) 正常工况

本项目数字平板减影血管造影机（DSA）不产生放射性废气、废水和固体废物，设备在运行期间，X 射线为主要污染因子。在采取隔室操作，设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，X 射线主束、泄漏辐射或散射辐射对手术职业人员、病患产生照射，以及上述辐射产生的贯穿辐射对周围环境和人员产生外照射影响，这种 X 射线随机器的开、关而产生和消失。

X 射线装置产生 X 线的照射量率与管电压和管电流有关，一般管电流增加照射量率也将增加。当采用较大管电流时，开机时间将缩短至零点几秒，因此，总照射量不会有明显的增加。X 射线装置受开机和关机控制，关机时没有射线发出。

除此之外，X 射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，但由于该项目血管造影仪工作时的管电压、管电流较小，产生的臭氧和氮氧化物也较少，可忽略其影响。

(2) 事故工况

①当警示灯、门灯联锁损坏时，公众、检查管理人员或检修维护人员在 DSA 开机状态下误入介入手术室。DSA 运作异常造成介入手术室外剂量超标，造成人员在不知情的情况下在介入手术室周围活动，致使人员所受剂量超标。

②DSA 在不停机和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。

③因违章操作，控制室操作人员在病人及医护人员未撤离介入手术室时进行曝光，给病人及医护人员造成额外的照射。

④进行介入手术的医护人员未穿戴铅衣等个人防护用品而受到不必要的照射，没有为患者穿戴个人防护用品而受到不必要的照射。

⑤在治疗结束后，治疗设备不能正常停止曝光，给病人及医护人员造成额外的照射。

⑥在发生事故时，紧急停止开关失灵，给病人及医护人员造成额外的照射。

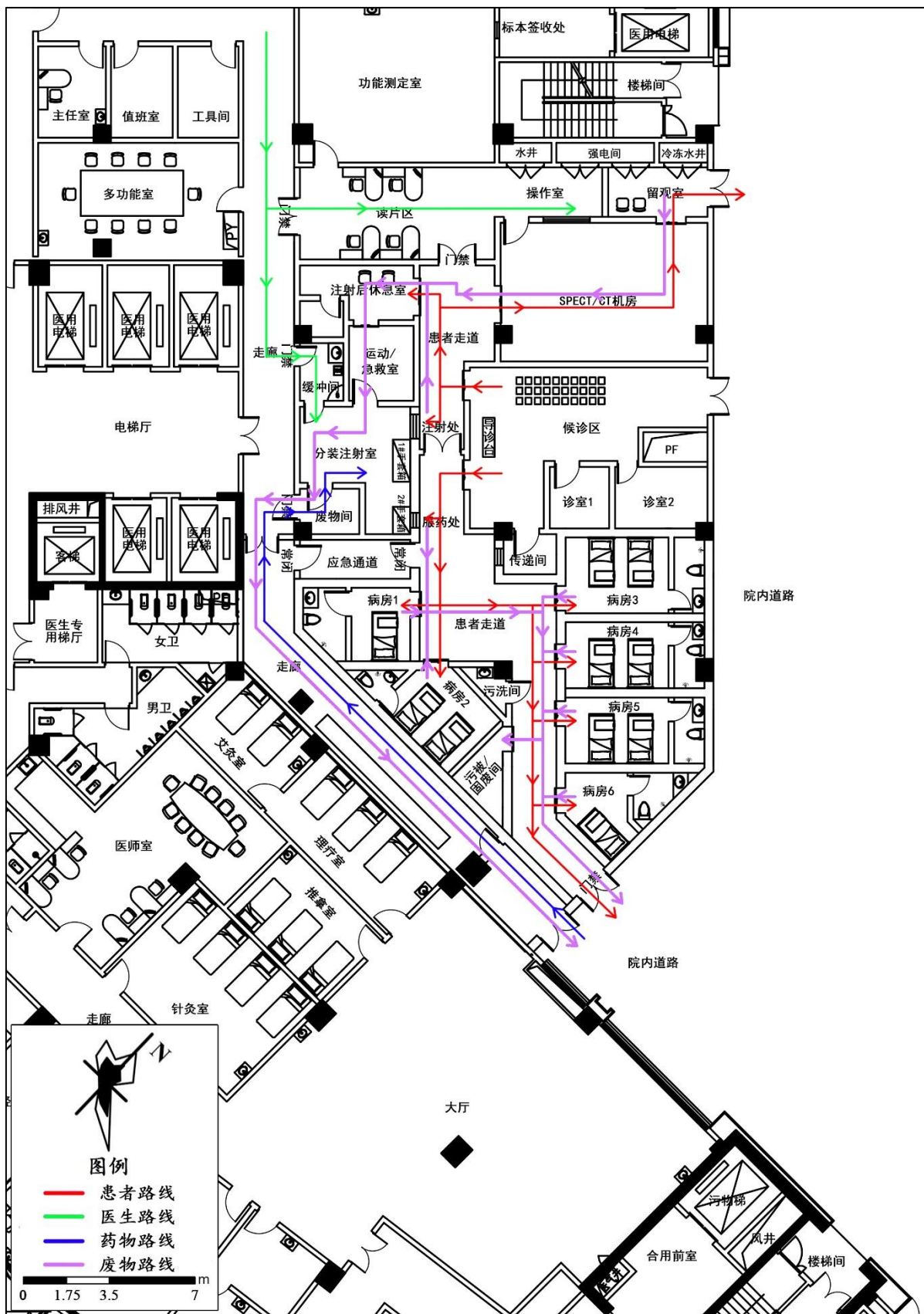


图 9.1-7 本次核医学科项目人流、物流路线示意图



图 9.1-8 本次 DSA 项目人流、物流路线示意图

表 10 辐射安全与防护

10.1 工作场所布局和分区

10.1.1 核医学科工作场所布局和分级

(1) 核医学科工作场所布局

本项目核医学科位于医技及门急诊楼（二期）1 楼东侧，为综合性的核医学工作场所，从功能上主要设置为 SPECT 区域和甲癌治疗区域，其中 SPECT 区域位于核医学科的北部，甲癌治疗区域位于核医学科的南部。项目工作场所的布局有助于开展工作，避免无关人员通过，自北向南分别设有读片区、操作室、留观室、注射后休息室、SPECT/CT 机房、缓冲间、运动/急救室、SPECT 区域的患者走道、分装注射室、分装注射室的废物间、注射处、服药处、病房 1、甲癌治疗区域的患者走道、病房 3、病房 4、病房 2、污洗间、甲癌治疗区域的污被/固废间、病房 5、病房 6 等。项目分装注射室与注射处、服药处的设置相对集中，便于放射性药物的运送。根据 GB 18871 的有关规定，结合本次核医学科项目的具体情况，将核医学科工作场所划分为控制区和监督区，对控制区和监督区采取相应管理措施。

项目根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定其放射防护要求。此外，本项目设计了合适的人流和物流的路径来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者）的活动，注射或服用放射性药物后患者与注射或服用放射性药物前患者不交叉，注射或服用放射性药物后患者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，限制放射性药物和注射或服用放射性药物后患者通过非放射性区域，并且项目放射性药物和放射性废物的运送通道相对短捷。项目通过设置专用放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理，便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

综上分析，本项目核医学工作场所的平面布局设计方案满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）对核医学场所的相关布局及设计要求。

(2) 核医学科工作场所分级

根据国家《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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》(GB 18871-2002)及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430号)可知，本项目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 10.1.1。

表 10.1.1 核医学科使用的放射性核素日等效最大操作量计算

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)
^{99m} Tc	2.22×10 ¹⁰	低毒, 0.01	很简单的操作, 10	2.22×10 ⁷
⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	中毒, 0.1	简单的操作, 1	2.96×10 ⁷
²²³ Ra	1.11×10 ⁷	极毒, 10	简单的操作, 1	1.11×10 ⁸
¹³¹ I	3.70×10 ¹⁰	中毒, 0.1	简单的操作, 1	3.70×10 ⁹
合计				3.86×10 ⁹

由表 10.1.1 可见,本项目核医学科日等效最大操作量为 3.86×10⁹Bq, 小于 4×10⁹Bq, 大于 2×10⁷Bq, 属于乙级非密封物质工作场所。

(3) 核医学科工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)对临床核医学工作场所具体分类办法,操作最大量放射性核素的加权活度(MBq)等于计划的日操作最大活度与该核素毒性权重因子的积除以与操作性质修正因子所得的商。本项目使用的放射性核素的日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子,操作性质修正因子及加权活度见表 10.1.2。

表 10.1.2 放射性核素加权活度及计算参数

核素名称	日操作最大活度 (MBq)	权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	工作场所分类
^{99m} Tc	2.22×10 ⁴	1	1	2.22×10 ⁴	II
⁸⁹ Sr	2.96×10 ²	100	1	2.96×10 ⁴	II
²²³ Ra	1.11×10 ¹	100	1	1.11×10 ³	II
¹³¹ I	3.70×10 ⁴	100	1	3.70×10 ⁶	I
合计				3.75×10 ⁶	I

本项目区域各放射性核素的加权活度最大为 3.75×10⁶MBq, 大于 50000MBq, 因此本项目核医学科属于 I 类核医学工作场所。

10.1.2 DSA 机房布局

本项目 2 台 DSA 设备均设有单独的机房，分别位于医技及门急诊楼（二期）3 楼北侧的手术室 OR10 和东北侧的手术室 OR16，其中手术室 OR10 北侧为控制室、机房，东侧为走廊，南侧为手术室 OR11，西侧为走廊，楼上为净化机房，楼下为等候室、候诊室、更衣室、患者通道、恢复室、咨询室等；手术室 OR16 北侧为污物通道，东侧为污物通道、预处置间，南侧为走廊、手术室 OR17，西侧为控制室、机房，楼上为后勤办公室，楼下为机房、办公通道、值班室、无菌库房、缓冲间、耗材库、会议室、卫生间等。各 DSA 机房出入口处均设置防护门，各机房空间设计情况见表 10.1.1。

表 10.1.3 各机房空间符合性表

项目位置	标准要求		机房设计情况		是否符合
	最小有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	
手术室 OR10	20	3.5	63.57	7.15	符合
手术室 OR16			60.52	7.35	符合

由表 10.1.3 可知，本项目介入手术室有效使用面积和最小单边长度均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的相关要求。

10.1.3 工作场所分区

为加强核技术利用工作场所的管理，限制无关人员受到不必要的照射，应对项目划定控制区和监督区进行分区管理。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“6.4 辐射工作场所的分区：应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。”的要求。其定义为“控制区：需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。”

结合 GB 18871-2002 和 HJ 1188-2021 相应的要求与现场实际，对本项目各工作场所的控制区和监督区进行划分，详见表 10.1.4 和图 10.1-1~10.1-3。

表 10.1.4 本项目工作场所分区情况

序号	辐射工作场所	控制区	监督区
1	核医学科	留观室、注射后休息室、SPECT/CT 机房、运动/急救室、SPECT 区域的患者走道、分装注射室、分装注射室的废物间、注射处、服药处、甲癌病房 1~6、甲癌治疗区域的患者走道、污洗间、甲癌治疗区域的污被/固废间	读片区、操作室、强电间、冷冻水井间、院内道路、导诊台、候诊区、传递间、诊室 1、诊室 2、应急通道、走廊
2	衰变池间	衰变池间	室内停车场、楼梯间、电梯间、走廊
3	手术室 OR10	手术室 OR10	控制室、机房、走廊、手术室 OR11
4	手术室 OR16	手术室 OR16	污物通道、预处置间、走廊、手术室 OR17、控制室、机房

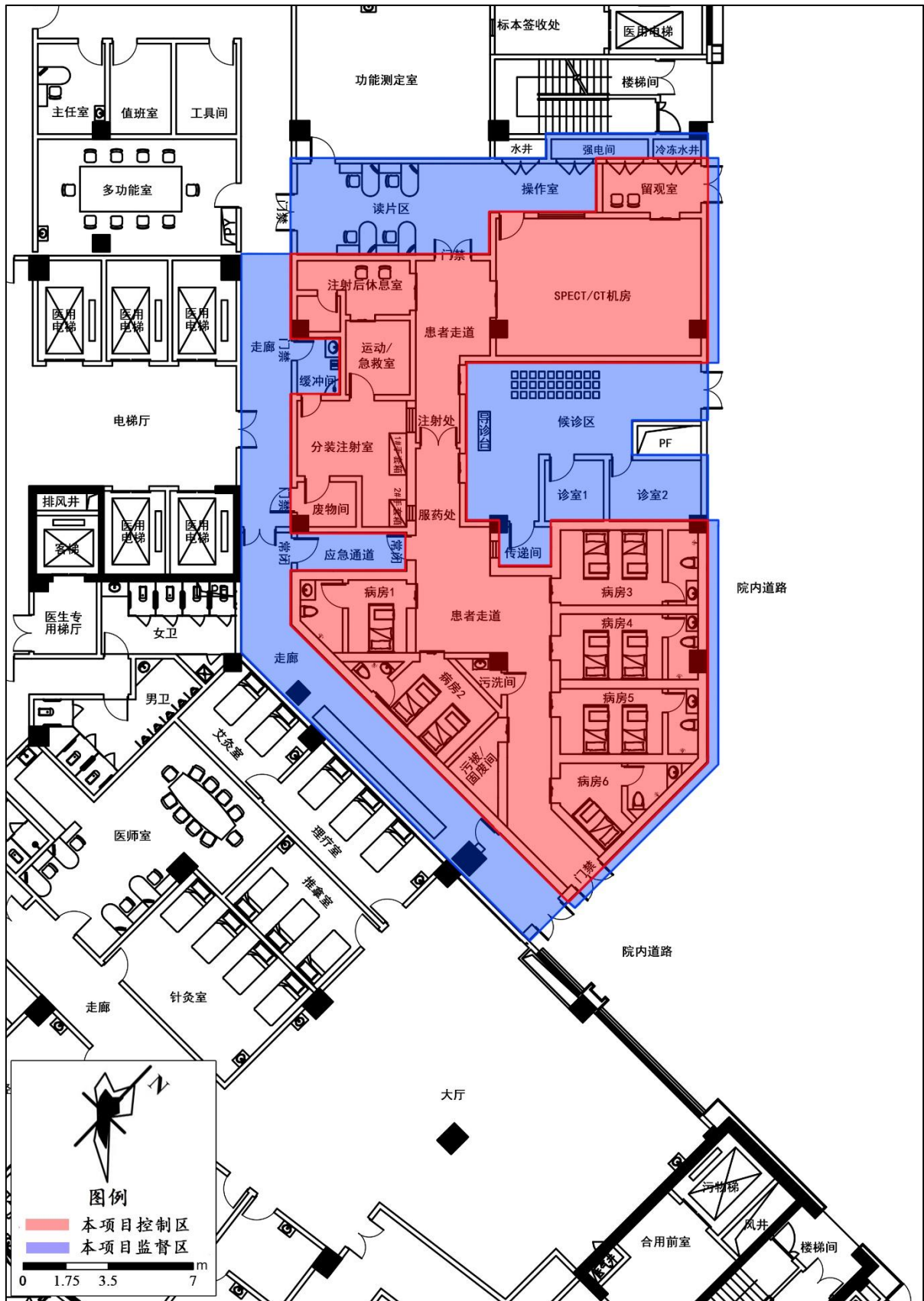


图 10.1-1 本项目核医学科分区情况示意图

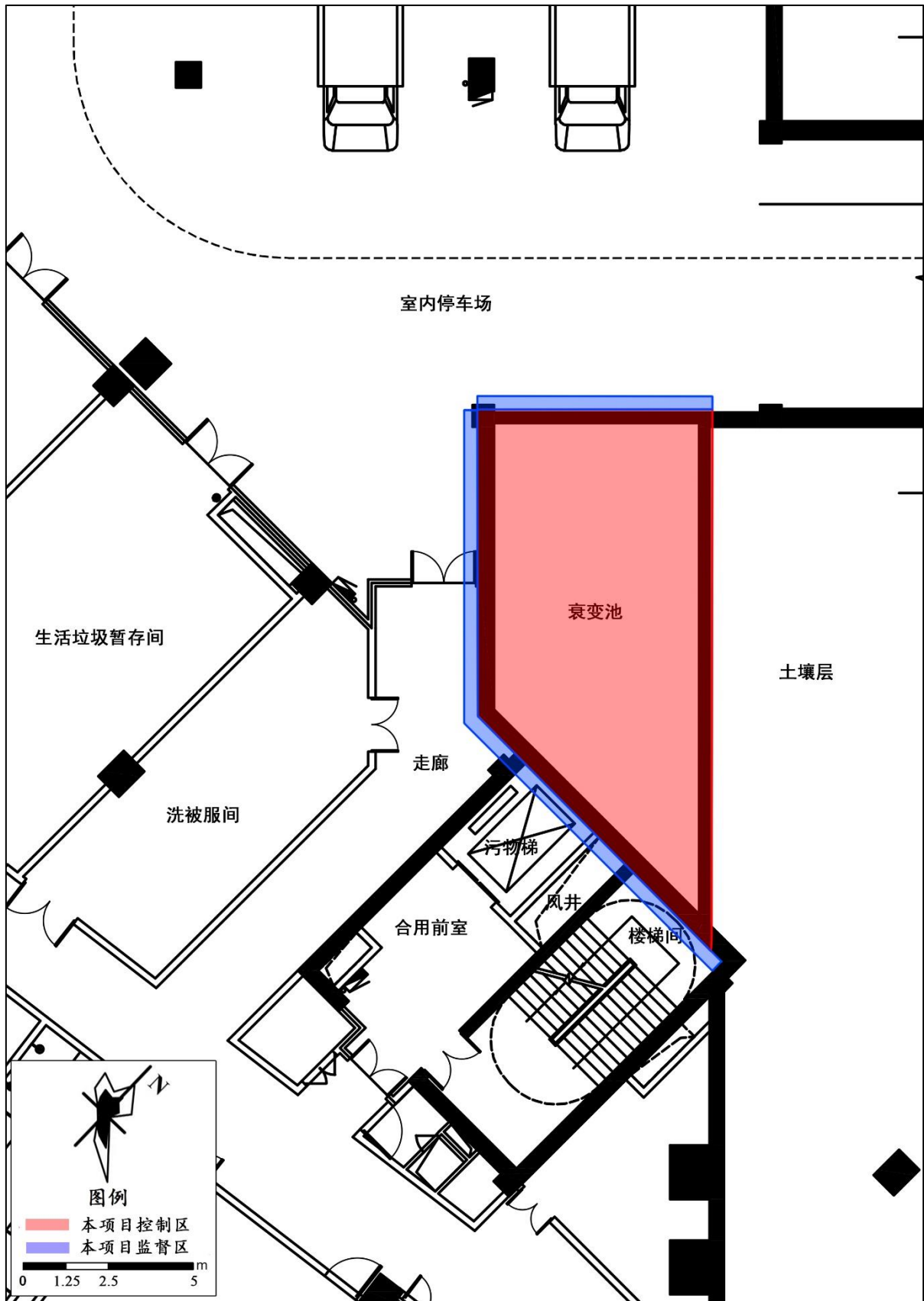


图 10.1-2 本项目衰变池间分区情况示意图

10.2 工作场所辐射安全和防护

10.2.1 核医学科工作场所辐射安全和防护

10.2.1.1 设备固有安全性

本项目 SPECT/CT 购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，仪器本身具备多种安全防护措施。

10.2.1.2 核医学科工作场所屏蔽防护方案

根据福建省立医院提供的资料，医技及门急诊楼（二期）负 1 楼层高为***m，1 至 3 楼层高均为***m，4 楼层高均为***m。项目核医学科部分墙体采用涂抹硫酸钡砂的方式增加防护，拟采取的辐射防护措施见表 10.2.1。

表 10.2.1 本项目核医学科的辐射防护屏蔽设计一览表

功能室	关注点	防护措施	门	窗户
分装注射室	北墙	***	***	***
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
	手套箱	***		
注射处	北墙	***	***	***
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
注射后休息室	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
运动/急救室	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		

	顶板	***		
	底板	***		
SPECT/ CT 机房	北墙	***	***	***
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
留观室	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
服药处	北墙	***	***	***
	东墙	***		
	东南墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	底板	***		
病房 1	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
病房 2	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
病房 3	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		

病房 4	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
病房 5	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
病房 6	北墙	***	***	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		
	底板	***		
衰变池 间	北墙	***	/	/
	东墙	***		
	南墙	***		
	西墙	***		
	顶板	***		

注：混凝土密度为 2350kg/m^3 ，实心砖密度为 1650kg/m^3 ，覆土密度为 1600kg/m^3 ；硫酸钡砂密度为 4250kg/m^3 ， 1mmPb 硫酸钡砂对应 7.5mm 硫酸钡砂。

10.2.1.3 核医学科辐射安全防护措施

(1) 警告设施

福建省立医院拟在本项目核医学科的控制区出入口设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全，并在场所内走道的地面上设置明确的患者导向标识，候诊区设置放射防护注意事项告知栏。在 SPECT/CT 机房的防护门设置自动闭门装置，上方设有工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。此外，机房还设有门—灯联动装置、门—机联动装置，在防护门关闭状态下警示灯亮起，以对周边人员进行实时警示，且仅此时设备才可进行照射。设备在出束过程中若防护门打开，设备自动停止出束。

(2) 紧急停机装置

本项目 SPECT/CT 的机房和控制室内安装紧急停机按钮，分别设置在控制室的操

作台上（1个）、治疗床上（1个）和墙面（1个），并有明显的标志。在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。

（3）视频监控和对讲装置

在本项目核医学科的分装注射室、注射处、注射后休息室、运动/急救室、SPECT/CT机房、留观室、服药处、各甲癌病房以及 SPECT 区域和甲癌治疗区域的患者通道中将设视频监控设备，由医院辐射工作人员进行监控，并将在上述功能室与对应监控操作间之间设对讲装置，便于工作人员发出指令，指导受检者按相关流程活动。

（4）门禁系统

本项目核医学科在医护人员、患者以及药物的各出、入口均设置门禁系统，来限制患者和其他无关人员的活动范围，设置自动回门装置，以防无关人员进入，并在场所内走道的地面上设置明确的患者导向标识。

（5）放射性物质存放

本项目使用的 ^{131}I 放射性药物储存在 30mmPb 的铅罐内，其他非密封放射性药物均储存在 20mmPb 的铅罐内，铅罐表面张贴电离辐射标志。药物均由供货商派专人直接送至核医学科的分装注射室内，并分别置于各手套箱中。药物应当天用完，若有放射性药物剩余，则将其收集至铅罐中，并暂存于分装注射室的各手套箱内，当日工作结束后由厂家进行回收。甲癌患者使用过的被服置于甲癌治疗区域污被/固废间内的被服柜中进行存放衰变，衰变至少 1 个半衰期后再进行清洗。

核医学科内产生的放射性废物暂存于 PECT 区域和甲癌治疗区域各场所的衰变桶中，其中 SPECT 区域和分装注射室的放射性固体废物在当日工作结束后，收集至分装注射室废物间的衰变桶中贮存衰变；甲癌治疗区域放射性固体废物在每周患者出院后，收集至甲癌治疗区域污被/固废间的衰变桶中贮存衰变。本项目衰变桶均设有电离辐射警示标志，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废物在衰变桶中存放至少 30 天以上，含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性废物在衰变桶中存放至少 10 个半衰期以上，含 ^{131}I 的放射性废物在衰变桶中存放至少 180 天以上，经监测满足解控要求后作为一般医疗垃圾处理。项目共计设置 28 个衰变桶，衰变桶的位置、数量、防护要求详见表 10.2.2。

表 10.2.2 本项目衰变桶的位置、数量、防护要求一览表

序号	衰变桶设置位置	容积	防护参数	数量
1	注射后休息室	10L	5mmPb	1
2	运动/急救室			1
3	留观室			1
4	分装注射室			2
5	注射处			2
6	分装注射室废物间	100L	5mmPb	4
		50L	5mmPb	3
7	甲癌治疗区域服药区	10L	20mmPb	1
8	甲癌病房 1~6			6
9	甲癌治疗区域污被/固废间	325L	20mmPb	5
		100L	20mmPb	2
合计				28

医院在日常工作中将对放射性物质进行管理，在储存放射性物质的铅罐和衰变桶外标明放射性物质的类型、核素种类和存放日期的说明，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内，并及时做好相应的台账记录。

(6) 药物分装

药物分装均在分装注射室的各手套箱内进行，其中 1#手套箱为 3mmPb，2#手套箱为 25mmPb，每个手套箱内的通风速率不小于 0.5m/s，且内部保持负压。

(7) 通风系统

本项目工作场所设置 5 套通风系统：

①注射处、注射后休息室、运动/急救室、SPECT/CT 机房、留观室、SPECT 区域的患者走道和分装注射室及其废物间、缓冲间的排风汇集于一个管道，后通过注射后休息室卫生间顶部的排风井直通楼顶；

②1#手套箱单独设计一个排风管道，后通过注射后休息室卫生间顶部的排风井直通楼顶；

③2#手套箱单独设计一个排风管道，后通过注射后休息室卫生间顶部的排风井直通楼顶；

④甲癌治疗区域的服药处、污洗间、各甲癌病房的排风汇集于一个管道，后通过注射后休息室卫生间顶部的排风井直通楼顶；

⑤甲癌治疗区域的污被/固废间单独设计一个排风管道，后通过注射后休息室卫生

间顶部的排风井直通楼顶；

本项目通风气流流向遵循自监督区向控制区的方向设计，5套通风系统均设置防回风阀，其中2个手套箱内风速不小于0.5m/s。5套通风系统最终经楼顶的活性炭过滤装置处理后，通过5个高出屋脊的排放口排放。放射性废气排放管道中的活性炭更换下来后，直接收集至衰变桶中，SPECT区域、分装注射室和1#手套箱等通风系统的活性炭送至分装注射室的废物间内贮存衰变，其余通风系统的活性炭送至甲癌治疗区域的污被/固废间内贮存衰变。

(8) 表面污染控制

①放射性药物有良好的外包装，送入后进行妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

③项目核医学科在缓冲间和各出入口设置卫生缓冲区，并在缓冲间内配备可更换衣物、防护用品、冲洗设施及剂量率检测仪表，在SPECT区域和甲癌治疗区域的出入口处共配备2台 α/β 表面沾污仪；

④放射性药物操作人员定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识；

⑤项目控制区和缓冲间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染；

⑥项目甲癌治疗区域内使用专用的保洁用品，不与其他场所（包括SPECT区域）混用，保洁用品存放于甲癌治疗区域的污洗间内，并利用污洗间内的清洗设施对保洁用品进行清洗；

⑦操作台、地面选用易于清污的材料或材质，地板与墙壁接缝无缝隙，并且每次操作完成后使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子等应急及去污用品进行去污。

(9) 污水收集及槽式放射性废液衰变池设置

本项目核医学科的排水管道平面设计已尽可能布置较短，并在大水流管道设有标记以便维修检测。本项目缓冲间、分装注射室、注射后休息室、运动/急救室和留观区等区域产生的放射性废水，通过支管道汇集到主管道，后排入医技及门急诊楼（二期）东南侧衰变池间的1#槽式放射性废液衰变池中；项目污洗间和各甲癌病房产生的放射

性废水，通过支管道汇集到主管道，后排入医技及门急诊楼（二期）东南侧衰变池间的 2#槽式放射性废液衰变池中。项目 2 套槽式放射性废液衰变池均为地埋式，上方为绿化带和院内道路，并在上方设有电离辐射警告标志，衰变池间的北侧和西侧设置设置防撞栏。放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管，考虑到废液在管道内残留影响，部分暴露的污水管道外包 5mmPb 铅板进行防护，并设置电离辐射警告标志。各区域的放射性废水分别经 2 套槽式放射性废液衰变池衰变，且符合排放标准后，排入医院废水处理系统。

10.2.1.4 核医学科人员辐射安全防护措施

（1）时间防护

核医学科的辐射工作人员以及公众要尽可能的减少与辐射源的接触时间，对辐射工作人员限定工作时间，轮岗工作，降低在辐射场所的停留时间，减少不必要的辐射照射。加强辐射工作人员的培训，严格按照治疗计划对病患进行诊疗，避免患者受到不必要的辐射照射。

（2）防护设施

除实体屏蔽措施外，本项目核医学科配备铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品（均为 0.5mmPb）4 套，同时配备 1 套放射性污染防护服、1 台便携式辐射监测仪、8 枚个人剂量计和 2 台 α/β 表面沾污仪。此外，医院拟在 SPECT 区域配备 1 个防护提盒(3mmPb)、2 个注射器防护套(2mmPb)和 3 个移动铅屏风(2mmPb)，在甲癌治疗区域配备 4 个移动铅屏风（20mmPb），在 SPECT/CT 机房、分装注射室和甲癌治疗区域内分别配备 1 台固定式辐射监测仪（共计 3 台），其中甲癌治疗区域内固定式剂量率报警仪可对检测缓冲区内出院患者体表外 1m 处的剂量率进行监测，并与出口门联锁，当甲癌患者需体内 ^{131}I 活度低于 400MBq(对应 1m 处剂量率 23.3 $\mu\text{Gy/h}$) 时，门锁打开，甲癌患者方可离开。

（3）距离防护

在不影响工作质量的前提下，与放射性核素保持尽可能大的距离。

（4）核医学科操作规程及防护制度

核医学科工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人剂量片佩戴于铅衣内左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜，尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。工作人员应根据患者

的体质、病理条件、体重和年龄等具体情况，确定合理的施用量。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。患者出院时，工作人员为患者提供与他人接触的辐射防护书面指导，减少患者和亲友受照量。目前，医院已制定相关核医学科操作规程及防护制度，要求工作人员严格遵守操作规程进行操作。

10.2.2 DSA 工作场所辐射安全和防护

10.2.2.1 DSA 机房屏蔽防护方案

本项目 2 间 DSA 机房均采取了符合标准的辐射防护措施，充分考虑邻室（含楼上楼下）及周围场所的人员防护和安全。手术室 OR10 的有效使用面积为***m²，高***m；手术室 OR16 的有效使用面积为***m²，高***m。本项目 DSA 机房的屏蔽防护设计详见表 10.2.3。

表 10.2.3 DSA 机房的辐射防护屏蔽设计一览表

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计参数	标准要求 mmPb
手术室 OR10	四周墙体	***	有用线束方向铅当量 2.0mmPb，非有用线束方 向铅当量 2.0mmPb
	顶板	***	
	地板	***	
	防护门	***	
	观察窗	***	
手术室 OR16	四周墙体	***	
	顶板	***	
	地板	***	
	防护门	***	
	观察窗	***	

注：混凝土密度为 2350kg/m³，实心砖密度为 1650kg/m³；硫酸钡砂密度为 4250kg/m³，1mmPb 硫酸钡砂对应 7.5mm 硫酸钡砂。

10.2.2.2 DSA 机房辐射安全防护措施

为保障 DSA 机房的安全运行，避免在开机期间人员误留或误入 DSA 机房内而发生误照射事故，以及对工作人员和病人的辐射防护，本项目 2 间 DSA 机房均设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) 机房防护门上方设置工作状态指示灯，并在灯箱处设置“射线有害，灯亮勿入”等警示语句，入口显著位置张贴电离辐射警告标志，工作状态指示灯和与防护门联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯亮起。本项目 2 间 DSA 机房的医护人

员通道防护门（平开门）设置自动闭门装置，病人通道防护门（电动推拉门）设置曝光时关闭机房门的管理措施和防夹装置。

（2）机房、控制室内均设置 1 个急停开关按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，可以切断设备电源，X 射线停止出束。

（3）机房设置对讲装置，方便工作人员实时与病人交流。

（4）机房设置观察窗及视频监控系统，在控制室内可以观察到手术室内的情况，当发生意外情况（有人误入或滞留）时，控制室内操作人员可以及时发现并采取应急措施。

（5）机房内布局合理，手术室 OR10 手术床呈东西向布置，手术室 OR16 手术床呈南北向布置，工作期间有用线束主要朝上照射，设备旋转时有用线束尽量避免直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位；并已制定相应规章制度要求日常运行过程不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

（6）为改善机房内空气质量，设计使用独立的动力通风系统进行送排风；本项目介入手术室电缆线管采用“U”型方从地下穿过墙体。

10.2.2.3 介入医生及护士的辐射安全和防护

本项目投入使用后，医院应加强介入手术中医生和的防护设施佩戴管理，从事介入手术的医生和应严格执行穿戴铅围裙、铅围脖和防护眼镜等个人防护用具，以降低 X 射线的外照射。

DSA 介入手术需要工作人员近距离同室操作，其受照剂量大小与设备曝光时间、患者病情状况等均密切相关，同时也与手术操作人员的工作习惯、技术水平有关。因此，医院在 DSA 项目运行过程中还应严格落实以下要求：

（1）配备防护用品

本项目每台 DSA 设备均自带 1 个铅悬挂防护屏和 1 个床侧防护帘（均为 0.5mmPb）。医院为本项目每间介入手术室配备 1 台便携式辐射监测仪、1 台个人剂量报警仪和 20 枚个人剂量计，辐射工作人员必须佩戴 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴于防护用品内，1 枚佩戴于防护用品外，可将内、外剂量计做明显标记（如以对比鲜明的颜色进行区分等），以估算人体未被屏蔽部分的剂量，注意防止内、外剂量计反戴的情况发生。此外，医院为本项目每间介入手术室的工作人员均配备铅围裙、铅颈套、铅帽、铅防护眼镜（均为 0.5mmPb）5 套，3 副介入防护手套（0.025mmPb）和 1 个移

动铅防护屏风（2mmPb），为每间介入手术室的受检者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb），为陪检者配备 1 件铅衣（0.5mmPb）。医院配备的各类防护用品能够有效降低工作人员和患者的吸收剂量。

（2）介入治疗时的防护要求

① 时间防护：熟悉机器性能和介入操作技术，尽量减少照射和采集时间，特别避免未操作时仍踩脚闸；

② 缩小照射野：在满足影像采集质量和诊疗需要的前提下，尽量缩小照射野、调节透视脉冲频率至最低状态；

③ 缩短物片距：尽量让影像增强器或平板靠近患者，减少散射线；

④ 充分利用各种防护器材：介入医生在对病人病灶进行照射时，将对病人病灶以外的部位用铅围裙、铅围脖等防护用品进行遮盖，避免病人受到不必要的辐射照射。介入医生穿戴铅衣、铅围领、铅帽、铅眼镜或铅面罩；使用床下铅帘及悬吊铅帘；重大手术需要技师、护士或其他人员在机房内时，除佩戴上述物品，还需在铅屏风后待命，并做好其他个人防护。

（3）管理制度

医院已制定相关操作规程及防护制度，必须参加有资质单位组织的辐射安全与防护培训，持证上岗，并要求严格遵守操作规程进行操作。医院将对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

10.3 辐射防护措施符合性分析

本项目核医学科和 DSA 的辐射防护措施，均按环保部辐射安全与防护监督检查技术程序进行分析，并与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对核医学科工作场所和 DSA 机房的防护设施技术要求对照，均符合标准要求，符合性分析情况见表 10.3.1~10.3.2。

表 10.3.1 核医学科工作场所辐射防护措施符合性分析表

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
<p>《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）</p>	<p>(1) 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。</p> <p>(2) 按《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中表 1 划分的三类核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求。</p>	<p>本项目属于 I 类核医学工作场所，各功能室均采取相应的辐射防护设计；操作台、地面选用易于清污的材料或材质，地板与墙壁接缝无缝隙；分装注射室设有 2 个手套箱；本项目核医学科工作场所设置 5 套通风系统，安装动力通风装置（手套箱内风速不小于 0.5m/s）；配备相应的应急及去污用品；经过设计，本项目核医学科的排水管道尽可能布置较短，并要求在大水管道贴标记以便维修检测；项目控制区和缓冲间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等选用脚踏式或自动感应式的开关。</p>	符合
	<p>(1) 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。</p> <p>(2) 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品，如铅衣、铅手套、铅围裙等。</p>	<p>本项目属于乙级非密封物质工作场所，分装注射室设有 1 个 3mmPb 的 1#手套箱和 1 个 25mmPb 的 2#手套箱，药物操作均在分装注射室、注射处和服药处中完成；医院为本项目配备铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品（均为 0.5mmPb）4 套，同时配备 1 套放射性污染防护服、1 台便携式辐射监测仪、8 枚个人剂量计和 2 台 α/β 表面沾污仪，满足项目使用；医院拟在 SPECT 区域配备 1 个防护提盒(3mmPb)、2 个注射器防护套（2mmPb）和 3 个移动铅屏风（2mmPb），在甲癌治疗区域配备 4 个移动铅屏风（20mmPb）；本项目使用的 ¹³¹I 放射性药物储存在 30mmPb 的铅罐内，其他非密封放射性药物均储存在 20mmPb 的铅罐内。</p>	符合
	<p>(1) 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。</p> <p>(2) 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 7.3.2 规定值，应采取相应去污措施。从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7.3.2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。</p>	<p>项目核医学科在缓冲间和各出入口设置卫生缓冲区，并在缓冲间内配备可更换衣物、防护用品、冲洗设施及剂量率检测仪表，在 SPECT 区域和甲癌治疗区域的出入口处共配备 2 台 α/β 表面沾污仪。</p>	符合
	<p>(1) 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。</p>	<p>本项目使用的 ¹³¹I 放射性药物储存在 30mmPb 的铅罐内，其他非密封放射性药物均储存在 20mmPb 的铅罐内，铅罐表面张贴电离辐射标志；药物均由供货商派专人直接送至核医学科的分</p>	符合

	<p>(2)放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。</p>	<p>装注射室内，并分别置于各手套箱中；核医学科内产生的放射性废物暂存于 PECT 区域和甲癌治疗区域各场所的衰变桶中，其中 SPECT 区域和分装注射室的放射性固体废物在当日工作结束后，收集至分装注射室废物间的衰变桶中贮存衰变；甲癌治疗区域放射性固体废物在每周患者出院后，收集至甲癌治疗区域污被/固废间的衰变桶中贮存衰变；核医学科通风系统过滤装置更换下来废活性炭，直接收集至衰变桶中，分别送至分装注射室的废物间和甲癌治疗区域的污被/固废间中贮存衰变；本项目衰变桶均设有电离辐射警示标志。</p>	
	<p>扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。</p>	<p>在 SPECT/CT 机房的防护门设有自动闭门装置，上方设有工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。</p>	符合
	<p>(1)核医学工作场所应保持有良好的通风，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。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。通风橱应有足够的通风能力。设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。</p> <p>(2)合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。</p>	<p>本项目通风气流流向遵循自监督区向控制区的方向设计，5套独立的通风系统均设置防回风阀，其中手套箱内通风速率不小于 0.5m/s；非密封放射性药物均在手套箱中进行，各手套箱内均含活性炭过滤装置，并单独设计一个排风管道；本项目 5套通风系统最终均经过楼顶的活性炭过滤装置处理后，分别通过 5 个高出屋脊的排放口排放。</p>	符合
<p>《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)</p>	<p>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。</p>	<p>本项目放射性物质均存放在铅罐中，并分别暂存于分装注射室的 2 个手套箱内。每年进行工作场所辐射水平监测，通过制定规程、门禁等措施，限制无关人员不得入内。在日常工作中将对放射性物质进行管理，对储存放射性物质的铅罐和衰变桶外标明放射性物质的类型、核素种类和存放日期的说明，并及时做好相应的台账记录。</p>	符合

《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)	分装药物操作宜采用自动分装方式, ¹³¹ I 给药操作宜采用隔离室或遥控给药方式。	本项目分装注射室的 2#手套箱配备 ¹³¹ I 自动分装仪。	符合
	放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。	本项目核医学科的排水管道已尽可能布置较短, 并在大水流管道贴标记以便维修检测。本项目缓冲间、分装注射室、注射后休息室、运动/急救室和留观区等区域产生的放射性废水, 通过支管道汇集到主管道, 后排入医技及门急诊楼(二期)东南侧衰变池间的 1#槽式放射性废液衰变池中; 项目各甲癌病房产生的放射性废水, 通过支管道汇集到主管道, 后排入医技及门急诊楼(二期)东南侧衰变池间的 2#槽式放射性废液衰变池中。项目 2 套槽式放射性废液衰变池均为地埋式, 上方为绿化带和院内道路, 并在上方设有电离辐射警告标志。放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管, 考虑到废液在管道内残留影响, 部分暴露的污水管道外包 5mmPb 铅板进行防护, 并设置电离辐射警告标志。各区域的放射性废水分别经 2 套槽式放射性废液衰变池衰变, 且符合排放标准后, 排入医院废水处理系统。	符合
	核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	在本项目核医学科场所内走道的地面上设置明确的患者导向标识。	符合
	给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	在本项目核医学科的分装注射室、注射处、注射后休息室、运动/急救室、SPECT/CT 机房、留观室、服药处、各甲癌病房以及 SPECT 区域和甲癌治疗区域的患者通道中将设视频监控设备, 由医院辐射工作人员进行监控, 并将在上述功能室与对应监控操作间之间设对讲装置; SPECT/CT 机房设置 10mmPb 的观察窗。	符合
	药物制备室应安装固定式剂量率报警仪。	在分装室注射配备 1 台固定式辐射报警仪。	符合
	¹³¹ I 治疗病房区应为相对独立的场所, 病房区入口处应设缓冲区。患者住院后, 只能在治疗区活动。	本项目甲癌治疗区域为相对独立的场所, 区域入口处设有缓冲区。患者住院后, 只能在治疗区域活动。	符合
¹³¹ I 治疗病房区应有独立的通风系统, 通风管道应有过滤装置, 并定期更换, 更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	甲癌治疗区域设有独立的通风系统, 排风经过楼顶的活性炭过滤装置处理后, 通过高出屋脊的排放口排放。活性炭过滤装置定期更换, 更换下来的废活性炭收集至衰变桶中, 并送至甲癌治疗区域污被/固废间的衰变桶中贮存衰变。	符合	

<p>¹³¹I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。</p>	<p>甲癌治疗区域产生的放射性废水排入医技及门急诊楼（二期）东南侧衰变池间的 2#槽式放射性废液衰变池，排水管道尽可能布置较短，并在大水流管道设有标记以便维修检测，部分暴露的污水管道均外包 5mmPb 铅板进行防护，并设置电离辐射警告标志。放射性的废水经 2#槽式放射性废液衰变池衰变，且符合排放标准后，排入医院废水处理系统。</p>	符合
<p>分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ¹³¹I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。</p>	<p>项目分装注射室的 2#手套箱配备 ¹³¹I 自动分装仪；服药区设视频监控设备；分装注射室设置缓冲间，缓冲间配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。</p>	符合
<p>施用了 ¹³¹I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。</p>	<p>本项目设置甲癌病房供甲癌患者使用，甲癌病房为 2 间单人间，4 间双人间；在双人间的 2 张病床中间设置移动铅屏风（20mmPb）进行适当的防护屏蔽。</p>	符合
<p>病房中应配备对讲、监控等设施。</p>	<p>甲癌病房中配备对讲、监控等设施。</p>	符合
<p>患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。</p>	<p>甲癌患者使用过的被服置于甲癌治疗区域污被/固废间内的被服柜中进行存放衰变，衰变至少 1 个半衰期后再进行清洗。</p>	符合
<p>在 ¹³¹I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。</p>	<p>项目甲癌治疗区域内使用专用的保洁用品，不与其他场所（包括 SPECT 区域）混用，保洁用品存放于甲癌治疗区域的污洗间内，并利用污洗间内的清洗设施对保洁用品进行清洗。</p>	符合

表 10.3.2 射线装置机房辐射防护措施符合性分析

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）	应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	本项目合理设置 SPECT/CT、DSA 及其机房的门、窗和管线口位置，避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	符合
	X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护和安全。	SPECT/CT 和 DSA 机房设计充分考虑邻室（含楼上）及周围场所的人员防护和安全，SPECT/CT 机房四周和顶棚板采用实心砖+硫酸钡砂、混凝土+硫酸钡砂等方式，DSA 机房四周和顶棚板采用硫酸钡砂等方式进行防护。	符合
	每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。……对新建、改建和扩建项目和技术	本项目 SPECT/CT 和 DSA 机房均设置单独机房，SPECT/CT 机房有效使用面积为 46.23m ² ，最小单边为 5.6m；手术室 OR10 的	符合

改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积应不小于 30m ² 、最小单边长度应不小于 4.5m。	有效使用面积为 63.57m ² ，最小单边为 7.15m；手术室 OR16 的有效使用面积为 60.52m ² ，最小单边为 7.35m。	
CT 机房：有用线束与非有用线束方向，铅当量为 2.5mmPb；C 形臂 X 射线设备机房：有用线束与非有用线束方向，铅当量为 2.0mmPb。	本项目 SPECT/CT 机房四周墙体、顶板和底板的防护效果在 2.5~6mmPb 之间，门窗防护效果分别为 5mmPb 和 10mmPb，均大于铅当量 2.5mm 的要求；本项目 2 间 DSA 机房四周墙体的防护效果为 5.8mmPb，顶板和底板的防护效果为 5.9mmPb，门窗防护效果为 4mmPb，均大于铅当量 2.0mm 的要求。	符合
具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。 CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。	由类比和预测结果可知，SPECT/CT、DSA 在正常使用条件下，各机房周边的 γ 剂量率预测结果均满足不大于 2.5μSv/h 的要求。	符合
机房应设有观察窗或摄影装置，其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。	SPECT/CT 和 DSA 机房设计均设有观察窗，其设置的位置可直接观察到患者和受检者的状态。	符合
机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	SPECT/CT 和 DSA 机房内均设置通风装置，已制定管理制度，要求机房内不堆放与诊断工作无关的杂物。	符合
机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。电动推拉门宜设置防夹装置。	SPECT/CT 和 DSA 机房的防护门外均设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全，防护门上方设置工作状态指示灯，并在灯箱处设置“射线有害，灯亮勿入”等警示语句。在 SPECT/CT 机房的防护门均设有自动闭门装置；2 间 DSA 机房的医护人员通道防护门（平开门）设置自动闭门装置，病人通道防护门（电动推拉门）设置曝光时关闭机房门的管理措施和防夹装置。核医学科候诊区设置放射防护注意事项告知栏。	符合
配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品，如铅衣、铅手套、铅围裙等。	医院为本项目核医学科配备铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品（均为 0.5mmPb）4 套。 本项目每台 DSA 设备均自带 1 个铅悬挂防护屏和 1 个床侧防护帘（均为 0.5mmPb），为本项目每间介入手术室的工作人员均配备铅围裙、铅颈套、铅帽、铅防护眼镜（均为 0.5mmPb）5 套，3 副介入防护手套（0.025mmPb）和 1 个移动铅防护屏风（2mmPb），为每间介入手术室的受检者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb），为陪检者配备 1 件铅衣（0.5mmPb）。	符合

10.4 三废的治理

10.4.1 放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要为核医学科的剩余放射性药物、槽式放射性废液衰变池的污泥、废活性炭以及使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性杯子、餐具等非密封放射性物质污染的物品。

本项目通风系统过滤装置更换下来废活性炭，直接收集至衰变桶中，其中 SPECT 区域、分装注射室和 1#手套箱等通风系统的活性炭送至分装注射室的废物间内经至少 505.3 天 (^{89}Sr 药物 10 个半衰期) 的贮存衰变，其余通风系统的活性炭送至甲癌治疗区域的污被/固废间内经至少 180 天的贮存衰变，待其达到清洁解控水平后，按医疗废物交由有资质单位处理。院方定期委托有资质的单位清掏 2 套槽式放射性废液衰变池的污泥，清掏前保证 1#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 30 天的贮存衰变，2#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 180 天的贮存衰变，待其达到清洁解控水平后，按医疗废物交由有资质单位处理。核医学科产生的剩余放射性药物分别暂存于分装注射室的 2 个手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收。

使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性杯子、餐具等非密封放射性物质污染的物品，主要产生于分装注射室、注射处、注射后休息室、运动/急救室、留观室、服药区和甲癌病房。这些放射性废物按核素种类、污染水平及产生时间进行分类收集，暂存于各场所衰变桶内，SPECT 区域和分装注射室的放射性固体废物在当日工作结束后收集至分装注射室废物间的衰变桶中贮存衰变，甲癌治疗区域放射性固体废物在每周患者出院后收集至甲癌治疗区域污被/固废间的衰变桶中贮存衰变，其中含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废物在衰变桶中存放至少 30 天以上，含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性废物在衰变桶中存放至少 10 个半衰期以上，含 ^{131}I 的放射性废物在衰变桶中存放至少 180 天以上，待其达到清洁解控水平后，按医疗废物处理。

10.4.2 放射性废气

本项目放射性废气主要产生于核医学科的注射处、服药处、注射后休息室、运动/急救室、SPECT/CT 机房、留观室、患者走道、1#手套箱、2#手套箱、甲癌病房、污

洗间、甲癌治疗区域的污被/固废间和分装注射室及其废物间、缓冲间等。本项目工作场所设置 5 套通风系统，均设置防回风阀，其中各手套箱内风速不小于 0.5m/s。各场所产生的放射性废气由支管道汇入主管道后，最终经楼顶的活性炭过滤装置处理后，通过 5 个高出屋脊的排放口排放。排气管道分布见图 10.4-1。

10.4.3 放射性废水

项目放射性废水主要为在医院观察期间 ^{99m}Tc 的患者排泄物、呕吐物和放射性药品操作过程的去污洗涤液，以及甲癌患者在住院期间生活废水和出院后场所的清洁废水。本项目设置 2 套槽式放射性废液衰变池，为埋地式，均位于医技及门诊楼（二期）东南侧衰变池间内。1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 3 个衰变池，其中 3 个衰变池尺寸均为 $***\text{m}\times***\text{m}\times***\text{m}$ ，约为 $***\text{m}^3$ ，3 个交替使用；2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 4 个衰变池，其中 4 个衰变池尺寸均为 $***\text{m}\times***\text{m}\times***\text{m}$ ，约为 $***\text{m}^3$ ，4 个交替使用。项目衰变池间上方为绿化带和院内道路，衰变池间北墙采用***，南墙采用***，西墙采用***，顶板采用***。衰变池间内设导流墙和集水沟，各污泥池和衰变池设置耐酸碱腐蚀、内壁光滑、防止渗漏防水等处理措施，并在各污泥池池底均设有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

本项目核医学科缓冲间、分装注射室、注射后休息室、运动/急救室和留观区等区域产生的放射性废水排入 1#槽式放射性废液衰变池中，各甲癌病房产生的放射性废水排入 2#槽式放射性废液衰变池中，衰变池间上方设有电离辐射警告标志，衰变池间的北侧和西侧设置设置防撞栏。放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管，部分暴露的污水管道采用外包 5mmPb 铅板进行防护。本项目本项目废水管道布置见图 10.4-2，衰变池间位置见图 1.5-3，2 套衰变池设计图见图 10.4-3。

项目 1#槽式放射性废液衰变池处理工艺流程如下：3 个衰变池交替使用，放射性污水从污泥池首先进入 1 号池，此时，另 2 个槽体进水口和 3 个槽体的出水口全部处于关闭状态。当 1 号池液面达到设定液位时，关闭 1 号池进水阀，污水进入 2 号池。依次类推，当 3 号池水液面达到设定液位时，1 号池排水阀开，排水泵工作。当液位传感器感知到 1 号池液位排空后，关闭 3 号池进水阀，同时打开 1 号池进水阀。如此循环，确保了每次排放的槽体内废液都是贮存时间最长的。项目 2#槽式放射性废液衰变池的处理工艺同上。

放射性的废水分别经 2 套槽式放射性废液衰变池衰变，且符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中相关要求后，排至医院下水管网，进入医院废水处理系统再行处理。

10.4.4X 射线

本项目 DSA 属于 II 类 X 射线装置，SPECT/CT 属于 III 类 X 射线装置，只有在设备开机的状态下才产生 X 射线，过程不产生放射性废水、废气和固废。

10.4.5 氮氧化物及臭氧等废气

当 SPECT/CT 和 DSA 运行时会产生少量的废气，其主要成分为臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x，为了防止机房内的臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 超标，医院拟在各机房内设置通风系统。在 SPECT/CT 和 DSA 工作时，通风系统均处于开启状态，可以防止机房空气中臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 等有害气体累积，对周围环境空气质量和辐射工作人员影响极小。

10.5 环保投资

本项目总投资***万元，环境保护投资共计***万元，占本项目总投资额的***%。详见表 10.5.1。

表 10.5.1 医院核技术利用项目辐射防护措施符合性分析表

类别	环保措施	投资估算（万元）
辐射防护设计施工	墙体及管道辐射防护处理	***
专用防护	核医学科控制区各房间防护门、机房防护门、通风电缆等管道防护	***
	个人剂量计、便携式辐射监测仪、固定式剂量报警仪、 α/β 表面沾污仪、衰变桶、个人防护用品等	***
通风设备	2 个手套箱、5 套核医学科通风系统、活性炭过滤装置	***
废水处理设备	2 套槽式放射性废液衰变池	***
其他费用	辐射工作人员培训、职业健康检查、辐射事故应急演练、相关制度上墙等	***
合计		***

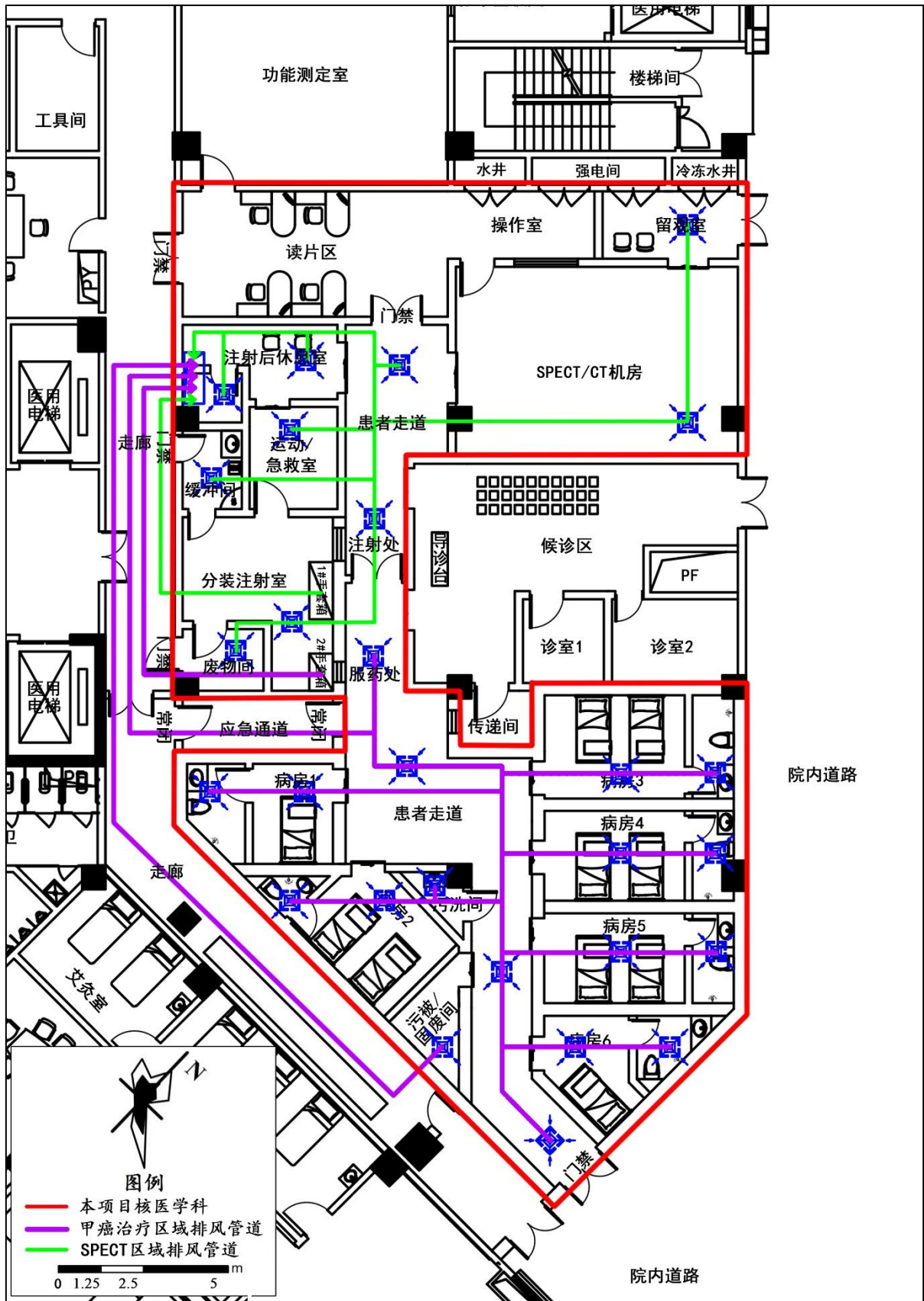


图 10.4-1 本项目核医学科排风管道布置图

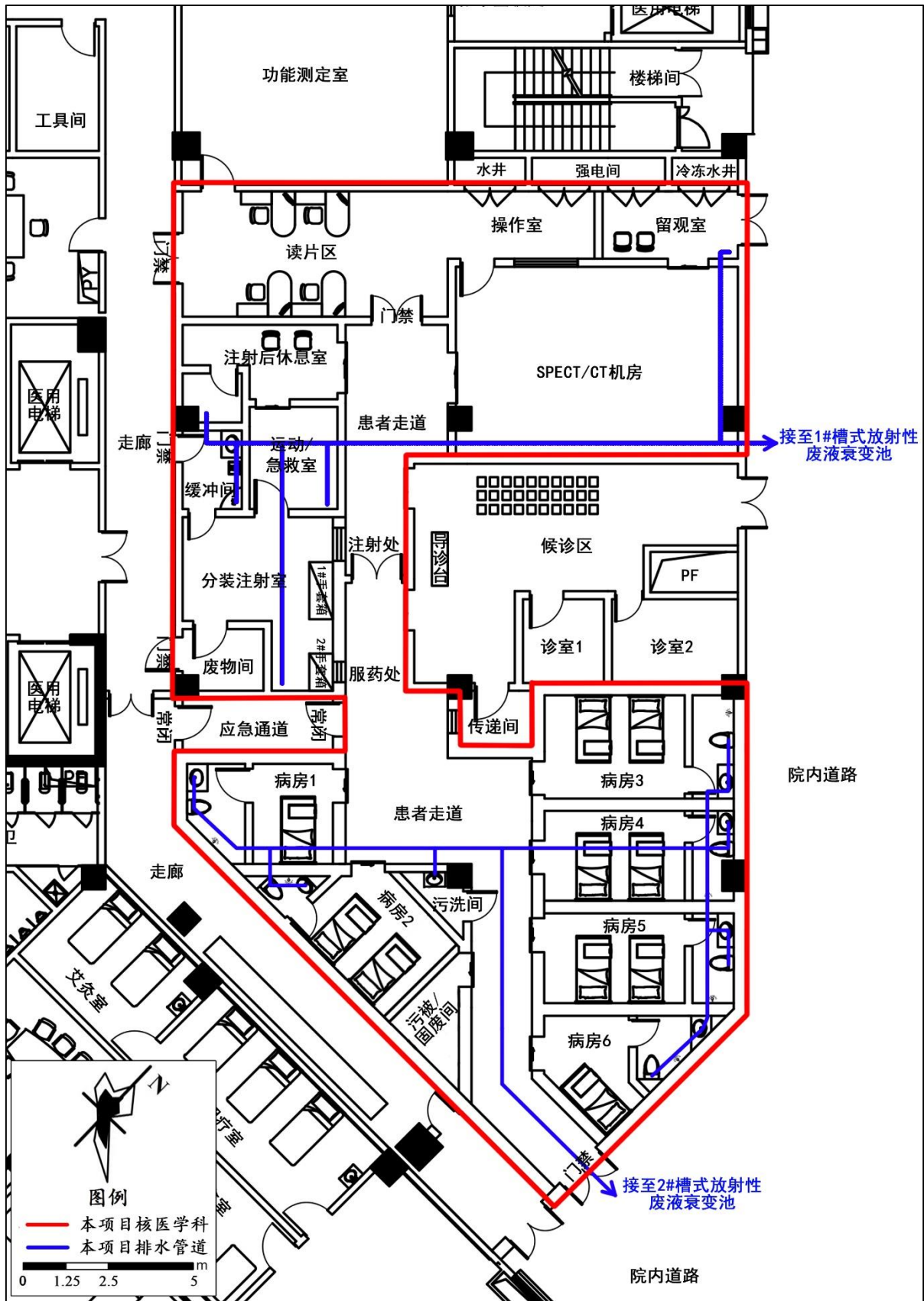


图 10.4-2 本项目核医学科排水管道布置图

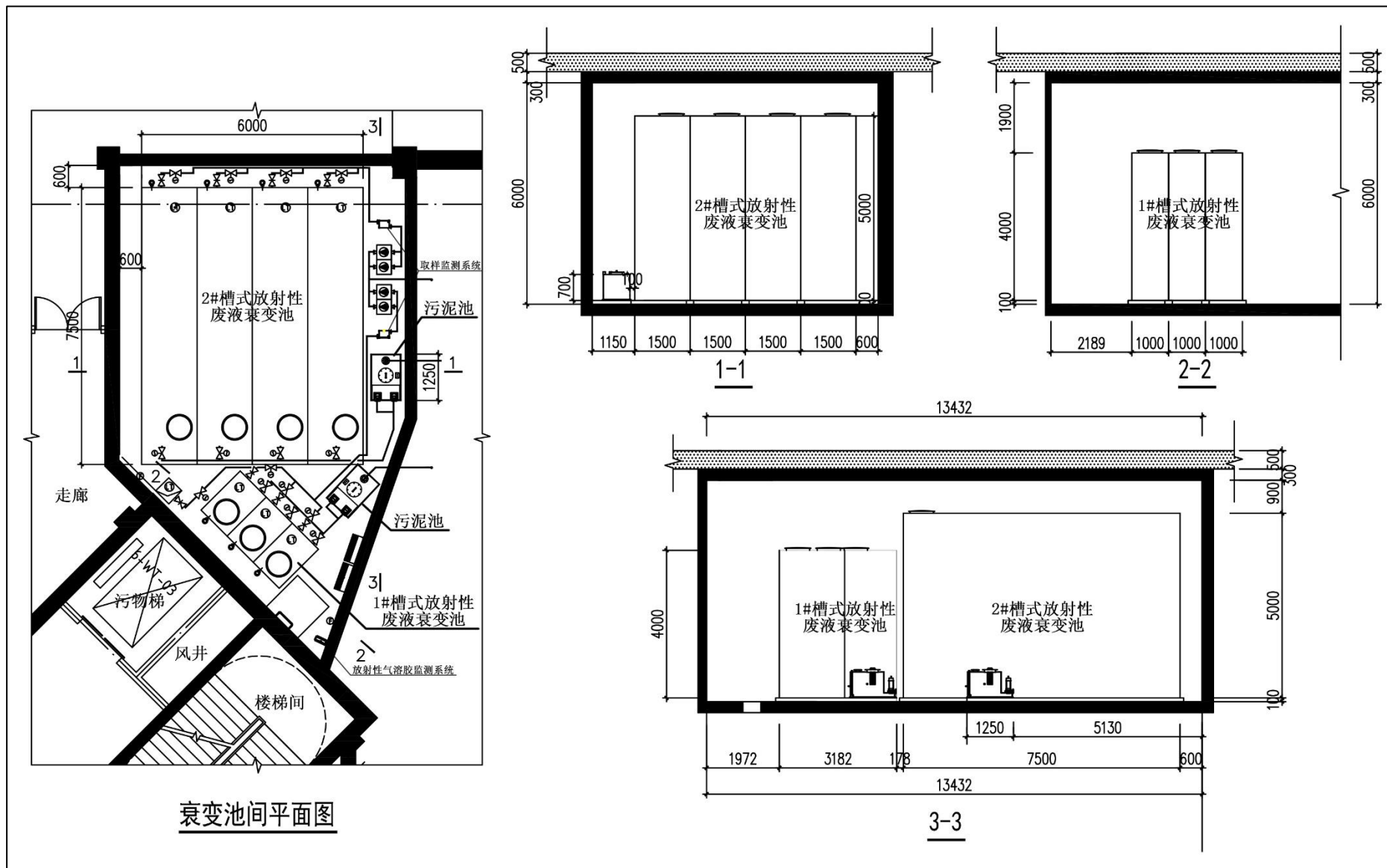


图 10.4-3 本项目槽式放射性废液衰变池设计图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目主要是在医技及门急诊楼（二期）1 楼和 3 楼的主体建筑上，进行内部建设、装修以及设备安装，设置防护门、防护窗、动力通风装置和放射性废液收集管道等防护措施，并在医技及门急诊楼（二期）东南侧绿化带和院内道路下方衰变池间内设置 2 套槽式放射性废液衰变池。项目施工时产生的环境影响主要是噪声、扬尘、废水、固体废物等。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围环境保护目标的影响在可接受的范围内。

11.1.1 施工噪声环境影响分析

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输及现场处理等。噪声值一般在 65~80dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，本项目应通过文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施；施工场所采取消声减震等措施，避免对医院其他科室产生影响。

11.1.2 施工期扬尘影响分析

本项目在施工过程中会产生少量的扬尘，其施工扬尘影响局限在医技及门急诊楼（二期）的范围内，因此，要求合理安排施工时间，加快施工进度，通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

11.1.3 施工期废水影响分析

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

施工废水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。

项目施工期间施工人员约 30 人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水 80L 计算，施工时间按 60 天计算，则施工期总用水量约为 144t（2.4t/d），污水排放量按

用水量的 90% 计算，则生活污水总排放量约 129.6t。项目施工生活污水主要是依托现有设施（卫生间），通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放，对周围环境影响较小。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

本项目工程量较小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废弃物。施工期间，施工人员按 30 人计，生活垃圾量按 0.5kg/人·d 计算，则施工期内产生生活垃圾约 900kg (15kg/d)。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交由环卫部门清运。

本项目的装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱、泡沫填充物和废胶桶等。建筑装修垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回收利用的施工废弃物应予以回收利用，废胶桶等由厂家回收，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

项目施工期环境影响只是一个短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，施工过程中采取抑尘措施、合理安排施工秩序、施工时间等措施，尽量将环境影响降低到最小。因此，总体来说，本项目施工期对周围环境的影响较小。

11.2 运营阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科运营期环境影响分析

本项目核医学科主要考虑非密封性放射性物质和射线装置产生的 γ 射线、 β 射线或 α 射线产生的影响。本评价采用理论计算的方法，将药物及已注射药物的患者简化为点源，并对非密封性放射性物质和射线装置产生的环境影响进行分析。

本项目核医学科各核素的患者最大剂量见表 11.2.1。

表 11.2.1 各核素的患者最大剂量

核素种类	单日最大诊疗人数 (人)	单人最大剂量 (MBq/人)	单日应用最大剂量 (MBq)	年应用最大剂量 (MBq)
^{99m}Tc	30	740	2.22×10^4	5.55×10^6
^{89}Sr	2	148	2.96×10^2	2.96×10^4
^{223}Ra	3	3.7	11.1	1.11×10^3
^{131}I	5	7400	3.70×10^4	3.55×10^6

11.2.1.1 ⁸⁹Sr 的辐射影响分析

⁸⁹Sr 核素为纯 β 放射性核素，主要考虑 β 射线及其产生的韧致辐射影响。

(1) β 粒子的射程计算

①⁸⁹Sr 分装过程：工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），根据患者用药量，在 2#分装注射室的 1#手套箱（3mmPb）内进行 ⁸⁹Sr 药物分装，药物距离身体约 50cm。

②⁸⁹Sr 注射过程：⁸⁹Sr 药物注射是在注射处进行，注射人员穿着铅衣（0.5mmPb），将套有注射器防护套（2mmPb）的注射器提至注射防护装置外，通过注射防护窗（5mmPb）对患者进行注射，注射过程药物距离身体约 50cm。

⁸⁹Sr 核素的 β 射线能量及射程的计算公式如下：

$$R = 0.412 \times E^{(1.265 - 0.0954 \times \ln E)} \quad \text{式 (11-1)}$$

式中： E ——β 射线最大能量（MeV）；

R ——β 射线在低原子序数中的射程（g/cm²）；

R 除以屏蔽物质密度（g/cm³）即可得到射程对应的屏蔽物质厚度（cm）。

表 11.2.2 ⁸⁹Sr 核素的 β 射线能量及射程的计算结果一览表

序号	核素名称	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽物质	在物质中的射程 (g/cm ²)	射程对应的屏蔽物质厚度 (mm)
1	⁸⁹ Sr	***	铅	***	***
			实心砖		***

注：铅密度为 11.34g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³。

由表 11.2.2 可知，⁸⁹Sr 的 β 射线最大能量为 0.5846MeV，其 β 射线射程在对应的屏蔽物质厚度较小，因此经过墙体、分装柜、铅衣、注射器防护套、注射防护窗等防护屏蔽后，β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响较小。

(2) β 粒子所致韧致辐射计算

β 射线与物质作用会产生韧致辐射，⁸⁹Sr 核素产生的韧致辐射剂量率及屏蔽后的剂量率情况计算公式如下：

能量为 E （MeV）β 粒籽与原子序数为 Z 的屏蔽材料相互作用产生的韧致辐射在空气 r （m）处的吸收剂量率计算公式如下：

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

式中： \dot{D} ——韧致辐射在空气 r （m）处的吸收剂量率（μSv/h）；

A ——放射源的活度（Bq）；

Z ——屏蔽材料的原子序数；

E_b ——轫致辐射的平均能量，为入射 β 粒籽最大能量的 1/3 (MeV)；

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ ——平均能量为 E_b 的轫致辐射在空气中的质量能量吸收系数 ($m^2 \cdot kg^{-1}$)；

公式 (式 11-1) 和 (式 11-2) 来自《辐射防护导论》P127-133。

表 11.2.3 ^{89}Sr 核素产生的轫致辐射剂量率及屏蔽后的剂量率一览表

核素名称	操作过程	源活度 (Bq)	屏蔽物质原子序数	轫致辐射的平均能量 (MeV)	距离	空气质量能量吸收系数	剂量率 ($\mu Sv/h$)	铅防护厚度 (mm)	屏蔽后的剂量率 ($\mu Sv/h$)
^{89}Sr	分装	***	***	***	0.5	***	***	***	***
	注射				0.5		***	***	***

注：1、铅原子序数为 82；

2、本项目空气质量能量吸收系数由《辐射防护导论》附表 1 可得。

11.2.1.2 ^{223}Ra 的辐射影响分析

本项目涉及使用的 ^{223}Ra 在衰变过程中会发射 α 射线，根据《辐射防护手册》(第一分册, P419)，能量在几个兆电子伏范围内，在标准状态下的空气中 α 射线的射程 R 可以近似地表示为下式：

$$R = 0.323 \times E_{\alpha}^{3/2} \quad \text{式 (11-3)}$$

式中： E_{α} —— α 射线最大能量 (MeV)；

R —— α 射线在空气中最大射程 (cm)；

对于机体组织和水，射程可简化为：

$$R' = 0.00122 \times R \quad \text{式 (11-4)}$$

式中： R —— α 射线在机体组织和水中的最大射程 (cm)；

表 11.2.4 ^{223}Ra 核素的 α 射线在不同介质中最大射程的计算结果一览表

序号	核素名称	α 射线最大能量 (MeV)	在空气中最大射程 (cm)	在机体组织和水中的最大射程 (cm)
1	^{223}Ra	***	***	***

由表 11.2.4 可知， ^{223}Ra 核素衰变过程中发射 α 射线，在空气和物质中的射程很短，最大分别为***cm 和*** μm ，戴上手套就足以完全屏蔽 α 射线。同时在整个使用过程中，还采取如墙体、分装柜、铅衣、注射器防护套、注射防护窗等防护屏蔽，且该放射性核素通过注射方式进入患者体内，机体组织完全能对其 α 射线进行屏蔽，因

此 α 射线对职业人员和公众辐射影响很小。

11.2.1.3 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 的辐射影响分析

(1) 关注点辐射水平估算

通过上述分析可知，本项目核医学科在运行过程中， ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 药物产生的射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响较小。因此，本评价主要考虑 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 药物在操作过程中，产生的 γ 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中屏蔽计算公式的变形形式，可得各屏蔽体外关注点剂量率的计算公式为：

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \times 10^{\frac{-x}{TVL_1}} \times 10^{\frac{-x}{TVL_2}} \quad \text{式 (11-5)}$$

式中： \dot{H}_p ——屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度（MBq）；

Γ_k ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ），本项目相应核素的周围剂量当量率常数见表 11.2.1；

r ——关注点与放射源间的距离（m）；

x ——屏蔽厚度（mm）；

TVL —— γ 射线的十分之一值层厚度（mm）；

本项目相应核素的什值层参考 GBZ 120-2020 中表 I.1 取值，详见表 11.2.6。

表 11.2.5 相应核素的周围剂量当量率常数

核素种类	周围剂量当量率常数（裸源）（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ）
^{99m}Tc	0.0303
^{131}I	0.0595

表 11.2.6 相应核素的什值层参考值（单位：mm）

核素种类	混凝土 （密度为 2.35g/cm^3 ）	铅 （密度为 11.3g/cm^3 ）	实心砖 （密度为 1.65g/cm^3 ）
^{99m}Tc	110	1	160
^{131}I	170	11	240

本项目可能受到核素辐射影响的主要为分装注射室、注射处、注射后休息室、运动/急救室、留观室、SPECT/CT 机房、服药处、甲癌病房和和衰变池间。计算公式见式（11-5），计算结果见表 11.2.7 和表 11.2.10。

表 11.2.7 操作核素 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 时关注点辐射剂量率计算结果一览表

房间/ 项目	源强 (MBq)	位置	关注点名称	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	估算结果($\mu\text{Sv/h}$)	
分装 注射 室	740×30	北墙	缓冲间	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30		运动/急救室	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	西北侧防护门	缓冲间	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	北侧防护门	运动/急救室	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	东墙	注射处、服药处	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	东北侧注射窗	注射处	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	东南侧服药窗	服药处	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	南墙	应急通道	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30		废物间	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	南侧防护门	废物间	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
740×30	西墙	走廊	***	***	***	***	
7400×5			***	***	***		

	740×30	顶板上方	更衣室、卫浴室	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
	740×30	底板下方	室内停车场	***	***	***	***
	7400×5			***	***	***	
注射处	740	北墙	读片区	***	***	***	
		北侧防护门	读片区	***	***	***	
		东墙	导诊台、候诊区	***	***	***	
		东侧防护门	导诊台、候诊区	***	***	***	
		南墙	服药处	***	***	***	
		南侧防护门	服药处	***	***	***	
		西墙	分装注射室、运动/急救室	***	***	***	
		西侧注射窗	分装注射室	***	***	***	
		顶板上方	走廊、过道、库房、更衣室	***	***	***	
		底板下方	室内停车场	***	***	***	
注射后休息室	740×2	北墙	读片区	***	***	***	
		东墙	患者走道	***	***	***	
		东侧防护门	患者走道	***	***	***	
		南墙	缓冲区	***	***	***	
			运动/急救室	***		***	
		南侧防护门	运动/急救室	***	***	***	
		西墙	走廊	***	***	***	
		顶板上方	库房	***	***	***	
底板下方	室内停车场、电气间	***	***	***			
740	北墙	注射后休息室	***	***	***		
	北侧防护门	注射后休息室	***	***	***		

运动/ 急救室		东墙	注射区、患者走道	***	***	***
		南墙	分装注射室	***	***	***
		南侧防护门	分装注射室	***	***	***
		西墙	缓冲间	***	***	***
			注射后休息室	***		***
		顶板上方	过道、更衣室、库房	***	***	***
底板下方	室内停车场	***	***	***		
SPEC T/CT 机房	740	北墙	控制室	***	***	***
			留观室	***		***
		西北侧防护门	控制室	***	***	***
		东北侧防护门	留观室	***	***	***
		北侧观察窗	控制室	***	***	***
		东墙	东侧院内道路	***	***	***
		南墙	候诊区	***	***	***
		西墙	读片区	***	***	***
			患者走道	***		***
		西侧防护门	患者走道	***	***	***
		顶板上方	医师室、空调机房、走廊	***	***	***
		底板下方	室内停车场	***	***	***
留观室	740×2	北墙	强电间、冷冻水井	***	***	***
		西北侧防护门	强电间	***	***	***
		东北侧防护门	冷冻水井	***	***	***
		东墙	东侧院内道路	***	***	***
		东侧防护门	东侧院内道路	***	***	***
		南墙	SPECT/CT 机房	***	***	***

		南侧防护门	SPECT/CT 机房	***	***	***
		西墙	控制室	***	***	***
		顶板上方	空调机房	***	***	***
		底板下方	室内停车场	***	***	***
服药处	7400	北墙	注射处	***	***	***
		北侧防护门	注射处	***	***	***
		东墙	导诊台、候诊区	***	***	***
		东侧防护门	导诊台、候诊区	***	***	***
		东南墙	传递间	***	***	***
		东南侧防护窗	传递间	***	***	***
		南墙	病房 2	***	***	***
			污洗间	***	***	***
		南侧防护门	病房 2	***	***	***
		西墙	应急通道	***	***	***
			分装注射室	***	***	***
		西侧防护门	应急通道	***	***	***
		西侧服药窗	分装注射室	***	***	***
		顶板上方	更衣室、卫浴室、更鞋室、走廊	***	***	***
底板下方	室内停车场	***	***	***		
病房 1	7400	北墙	应急通道	***	***	***
		东墙	患者走道	***	***	***
		东侧防护门	患者走道	***	***	***
		南墙	病房 2	***	***	***
		西墙	走廊	***	***	***
		顶板上方	卫浴室、更鞋室	***	***	***

		底板下方	室内停车场	***	***	***
病房 2	7400×2	北墙	患者走道	***	***	***
			污洗间	***	***	***
		北侧防护门	患者走道	***	***	***
		东墙	污被/固废间	***	***	***
		南墙	走廊	***	***	***
		西墙	病房 1	***	***	***
		顶板上方	更衣室、设备室、工具间、走廊	***	***	***
		底板下方	室内停车场	***	***	***
病房 3	7400×2	北墙	诊室 1、诊室 2	***	***	***
		东墙	院内道路	***	***	***
		南墙	病房 4	***	***	***
		西墙	传递间	***	***	***
			患者走道	***		***
		西侧防护门	患者走道	***	***	***
		顶板上方	示教室	***	***	***
		底板下方	室内停车场	***	***	***
病房 4	7400×2	北墙	病房 3	***	***	***
		东墙	院内道路	***	***	***
		南墙	病房 5	***	***	***
		西墙	患者走道	***	***	***
		西侧防护门	患者走道	***	***	***
		顶板上方	示教室、配液设备间	***	***	***
		底板下方	室内停车场	***	***	***
	7400×2	北墙	病房 4	***	***	***

病房 5		东墙	院内道路	***	***	***
		南墙	病房 6	***	***	***
		西墙	患者走道	***	***	***
		西侧防护门	患者走道	***	***	***
		顶板上方	配液设备间	***	***	***
		底板下方	室内停车场	***	***	***
病房 6	7400	北墙	病房 5	***	***	***
		东墙	院内道路	***	***	***
		南墙	患者走道	***	***	***
		西墙	患者走道	***	***	***
		西侧防护门	患者走道	***	***	***
		顶板上方	水处理设备间	***	***	***
		底板下方	室内停车场	***	***	***
分装 注射 室 1# 手套 箱	740×30	北侧外表面 30cm 处	分装注射室	***	***	***
		东侧外表面 30cm 处		***		***
		南侧外表面 30cm 处		***		***
		西侧外表面 30cm 处 (人员操作位)		***		***
		上方表面 30cm 处		***		***
		下方表面 30cm 处		***		***
		西侧外表面 5cm 处		***		***
分装 注射 室 2# 手套 箱	7400×5	北侧外表面 30cm 处	分装注射室	***	***	***
		东侧外表面 30cm 处		***		***
		南侧外表面 30cm 处		***		***
		西侧外表面 30cm 处 (人员操作位)		***		***

		上方表面 30cm 处		***		***
		下方表面 30cm 处		***		***
		西侧外表面 5cm 处		***		***
敏感点 ^①	7400×2	病房 4 北墙	医技及门急诊楼（一期）	***	***	***
	7400×2	病房 4 东墙	住院部（一期）	***	***	***
	7400×2	病房 5 南墙	动力设备中心（二期）	***	***	***
	7400×2	病房 2 南墙	住院部（二期）	***	***	***
注： ^① 敏感点的预测综合考虑放射性活度、时间和距离等因素，取核医学科在该方向预测最大值作为敏感点预测值。						

本项目核医学科设置 2 套槽式放射性废液衰变池，其中缓冲间、分装注射室、注射后休息室、运动/急救室和留观区等区域产生的放射性废水排入 1#槽式放射性废液衰变池，各甲癌病房产生的放射性废水排入 2#槽式放射性废液衰变池。

根据“表 9 项目工程分析与源项”可知，本项目核医学科不产生含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 放射性废水，因此对于 SPECT 区域，本评价仅含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性废水。本项目核医学科的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断患者每日用水量按《综合医院建筑设计规范》（GB 51039-2014）的“表 6.2.2 医院生活用水量定额”中“门、急诊患者”进行取值，即 15L/人·d，项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断患者总计 30 人/d，则患者单日平均用水总量为 0.45t/d。医护人员每天用水量（洗手用水及工作台面清洁用水）按《城市居民生活用水量标准》（GB/T 50331-2002）中“一般型卫生”用水量取为 8L/人·d，本项目核医学科 SPECT 区域共配有 8 名辐射工作人员，则工作人员每天用水总量为***t/d。医护人员有时会因操作失误等产生清洗用水，SPECT 区域的清洁用水量均按 20L/d 计，即 0.02t/d。废水排放系数根据《城市排水工程规划规范》（GB 50318-2000）的“表 3.1.6 城市分类污水排放系数”中“城市综合生活污水”，取 0.9，则项目排入 1#槽式放射性废液衰变池的放射性废水量约***t/d。

根据《福建省行业用水定额》（DB35/T 772-2013）中“表 6 第三产业用水定额”，本项目甲癌患者住院期间生活用水量按“城市居民生活用水”进行取值，即 120L/人·d，甲癌患者每周为 2 批次，每批次治疗人数为 5 人，治疗时间为 5 天，则每周甲癌治疗区域治疗时间为 6 天，平均每天甲癌患者用水总量为***t/d；当每周甲癌患者全部出院后，工作人员会对甲癌治疗区域进行清洁（含甲癌患者使用过的被服清洗），每次使用清洁用水量按 240L 计，即***t/d。废水产生量按用水量的 90% 计，则项目排入 2#槽式放射性废液衰变池的放射性废水量约***t/d。

根据设计单位提供资料，本项目 1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 3 个衰变池，其中每级衰变池容积为*** m^3 ，有效容积按 90% 计，每级衰变池有效容积为*** m^3 ，能容纳约 11 个诊断日（15 天）的放射性废水；2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 4 个衰变池，其中每级衰变池容积为*** m^3 ，有效容积按 90% 计，每级衰变池有效容积为*** m^3 ，能容纳约 54 个治疗日（9 周，63 天）的放射性废水。

参考《AAPM Task Group 108:PET and PET/CT Shielding Requirements》，核医学科工作场所患者诊断期间核素排放量按总注射活度的 20% 计；根据易艳玲等人对《分化型甲状腺癌患者日尿排泄 ^{131}I 活度分数计算》的研究，甲癌患者在服药后 5 日内排

泄 ^{131}I 的活度按总摄入活度的 80% 计。本评价从偏保守角度估算，不考虑单个池子在存储期间的衰变影响，则 2 套槽式放射性废液衰变池的单个池子内放射性核素最大活度详见表 11.2.8。

表 11.2.8 核医学科每日放射性废水排放量

核素种类	单个池子存储期间各核素最大用量 (MBq)	排放系数	单个池子内放射性核素最大活度 (MBq)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	***	20%	***
^{131}I	***	80%	***

由于每套槽式放射性废液衰变池的污泥池与每级衰变池之间连通，在运行过程中主要是起到混合的作用，故不计入其衰变的作用。本评价通过等比公式变形形式，计算每套槽式放射性废液衰变池存满放射性废液时，所含各池子中放射性核素的最大活度：

$$A_3 = A_4 \times q^d \quad \text{式 (11-6)}$$

$$A_2 = A_4 \times q^{2d} \quad \text{式 (11-7)}$$

$$A_1 = A_4 \times q^{3d} \quad \text{式 (11-8)}$$

$$A_{\text{总}} = A_4 + A_3 + A_2 + A_1 \quad \text{式 (11-9)}$$

式中： q ——放射性核素在一天内的衰变因子；

d ——单个池子储存满需要的时间 (d)；

A_4 ——4 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)；

A_3 ——3 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)；

A_2 ——2 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)；

A_1 ——1 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)；

$A_{\text{总}}$ ——每套槽式放射性废液衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)。

其中，放射性核素在一天内的衰变因子 q 计算公式如下：

$$q = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{T}} \quad \text{式 (11-10)}$$

式中： T ——核素的半衰期 (d)。

表 11.2.9 各池子内放射性核素的最大活度计算结果

核素名称	^{99m} Tc ^②	¹³¹ I
单个池子储存满需要的时间 (d)	***	***
放射性核素在一天内的衰变因子	***	***
4 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)	/	*** ^①
3 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)	*** ^{4①}	***
2 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)	***	***
1 号衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)	***	***
每套槽式放射性废液衰变池内放射性核素的最大活度 (MBq)	***	***

注：^①取单个池子内放射性核素最大活度进行估算；

^②1#槽式放射性废液衰变池仅包含 3 个衰变池。

表 11.2.10 衰变池间周边关注点辐射剂量率计算结果一览表

房间	源强 (MBq)	位置	关注点名称	衰减距离 (m)	屏蔽材料及厚度	估算结果 (μSv/h)	
衰变池间	4.88×10 ⁴	北墙	室内停车场	***	***	***	***
	5.35×10 ⁵			***			
	4.88×10 ⁴	南墙	楼梯间、电梯间	***	***	***	***
	5.35×10 ⁵			***			
	4.88×10 ⁴	西墙	走廊、室内停车场	***	***	***	***
	5.35×10 ⁵			***			
	4.88×10 ⁴	顶板上 方	绿化带、院内道路	***	***	***	***
	5.35×10 ⁵			***			

注：衰变池间东侧为土壤层，故不估算该处辐射剂量率；

覆土密度为 1600kg/m³，500mm 覆土折算为 340mm 混凝土。

从表 11.2.2、表 11.2.4、表 11.2.7 和表 11.2.10 中可以看出，本项目核医学科操作核素 ⁸⁹Sr、²²³Ra、^{99m}Tc 和 ¹³¹I 时，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在***~***μSv/h 之间，均低于 2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的相关要求。分装注射室的 2 个手套箱外表面 30cm 处人员操作位的剂量率分别为***和***μSv/h，非正对人员操作位表面 30cm 处的剂量率为***~***μSv/h 之间，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h”的要求。分装注射室的 2 个手套箱外表面 5cm 处的剂量率分别为***和***μSv/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-

2020) 中“保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h”的要求。

(2) 工作人员辐射剂量率预测

① SPECT 区域核素操作人员分装过程：分装过程工作人员穿着铅衣 (0.5mmPb)，通过分装注射室内的 1#手套箱 (3mmPb) 进行操作，药物距离身体约 50cm。

② SPECT 区域核素操作人员取药、注射过程：取药过程工作人员穿着铅衣 (0.5mmPb)，用防护提盒 (3mmPb) 将套有注射器防护套 (2mmPb) 的注射器提至注射防护装置外，取药过程药物距离身体躯干约 50cm；注射时，注射人员穿着铅衣 (0.5mmPb)，通过注射防护窗 (5mmPb) 对患者进行注射，注射过程药物距离身体约 50cm。

③ SPECT/CT 操作人员摆位过程：摆位过程工作人员穿着铅衣 (0.5mmPb)，在移动铅屏风 (2mmPb) 后进行摆位工作，按身体距离病人约 50cm 进行估算。

④ 甲癌治疗区核素操作人员分装过程：装有药品的铅罐 (30mmPb) 装入分装注射室 2#手套箱 (25mmPb) 内的自动分装仪中，分装过程工作人员穿着铅衣 (0.5mmPb)，通过自动分装系统进行进行操作，工作人员身体躯干距离源按 1.0m 进行估算。

表 11.2.11 核医学科工作人员辐射剂量率预测结果

操作过程	关注点描述	源强 (MBq)	屏蔽措施	衰减距离 r (m)	估算结果 (μ Sv/h)
⁸⁹ Sr、 ²²³ Ra 和 ^{99m} Tc 分装	SPECT 区域核素操作人员	***	***	***	***
取药		***	***	***	***
注射		***	***	***	***
摆位	SPECT/CT 操作人员	***	***	***	***
¹³¹ I 自动分装	甲癌治疗区核素操作人员	***	***	***	***

11.2.1.4 SPECT/CT 环境影响分析

本项目 SPECT/CT 机设有单独的机房，且符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中对诊断 X 射线扫描间的防护措施要求。

为分析本项目 SPECT/CT 机房工作时周围的辐射水平，本次评价收集了《福建医科大学附属第二医院东海分院核技术利用项目竣工环境保护验收监测报告表》中 Brilliance CT BigBore 型的 X 射线计算机断层摄影设备 (CT 模拟定位系机) 进行类比

分析。类比可行性及检测结果见表 11.2.12 和 11.2.13。

表 11.2.12 SPECT/CT 类比条件一览表

项目	类比对象	本项目 SPECT/CT	对比结果
型号	Brilliance CT BigBore 型	待定	/
管电压	140kV	140kV	一致
四壁屏蔽	30cm 混凝土 (约合 3.7mmPb)	***	本项目优
顶板	10cm 混凝土+1.5mmPb 防护涂料 (约合 2.7mmPb)	***	本项目优
防护门	3mmPb	***	本项目优
观察窗	3mmPb	***	本项目优

表 11.2.13 福建医大二院东海分院 CT 模拟定位机机房周围当量剂量率监测结果

序号	点位名称	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
		关机	开机	
1#	机房防护门外 30cm 处 (上侧)	***	***	***
2#	机房防护门外 30cm 处 (下侧)	***	***	***
3#	机房防护门外 30cm 处 (左侧)	***	***	***
4#	机房防护门外 30cm 处 (右侧)	***	***	***
5#	机房防护门外 30cm 处 (中侧)	***	***	***
6#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (上侧)	***	***	***
7#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (下侧)	***	***	***
8#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (左侧)	***	***	***
9#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (右侧)	***	***	***
10#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (中侧)	***	***	***
11#	控制室操作位	***	***	***
12#	机房北墙外 30cm 处	***	***	***
13#		***	***	***
14#	机房东墙外 30cm 处	***	***	***
15#		***	***	***
16#	管线口	***	***	***
17#	机房正上方院内地面停车场离地 100cm 处	***	***	***
18#		***	***	***

由表 11.2.12 中可以看出, 本项目 SPECT/CT 管电压与类比对象一致, 防护情况较类比对象好, 本项目采用该项目进行类比是偏保守的。

对比表 11.2.13 的验收数据可知, 设备在正常运行情况下, 对控制室 (观察窗、操作位) 及机房周围其他区域最大附加辐射当量剂量率均为 $***\mu\text{Sv/h}$ 。叠加前文所述核素

^{99m}Tc 的影响，距 SPECT/CT 机房的防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率在***~***μSv/h 之间，仍低于 2.5μSv/h，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的相关要求。

11.2.1.5 年有效剂量估算

根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述，确定项目不同场所的居留因子。本次核医学科项目不同场所的居留因子详见表 11.2.14。

表 11.2.14 核医学科不同场所的居留因子

人员		居留因子	场所描述
职业人员		1	分装注射室、操作室、读片区
公众人员	其他医护人员、其他工作人员、病人及病人家属	1	1 楼：诊室 1、诊室 2、导诊台； 2 楼：医师室； 医技及门急诊楼（一期）、住院部（一期）、动力设备中心（二期）、住院部（二期）；
		1/5	负 1 楼：走廊； 1 楼：走廊； 2 楼：走廊、过道、示教室；
		1/20	负 1 楼：电气间； 1 楼：强电间、冷冻水井、候诊区、传递间、应急通道； 2 楼：库房、强电机房、空调机房、更衣室、卫浴间、更衣区、设备室、工具间、配液设备间、水处理设备间；
		1/40	负 1 楼：室内停车场、楼梯间、电梯间 1 楼：绿化带、院内道路；

注：本项目西侧应急通道设有门禁，且少有人出入，故其参考设备间进行取值居留因子。

为确定医院核医学科工作场所防护的有效性及其项目运行过程中对操作人员和公众产生的辐射剂量及其辐射环境影响，对其进行辐射剂量估算评价。

辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算公式如下：

$$H = D_r \times T \times t \times U \quad \text{式 (11-11)}$$

式中： H ——年有效剂量当量，mSv/a；

D_r ——空气吸收剂量率，mSv/h；

T ——居留因子；

t ——年受照时间，h/a；

U ——使用因子，放射性核素以点源考虑，取 1。

本项目核医学科辐射工作人员 10 人：其中 SPECT 区域负责分装、注射的核素操作人员 2 人，SPECT 区域负责扫描、摆位的 SPECT/CT 操作人员 4 人，甲癌治疗区域负责自动分装、观察病人服药的核素操作人员 4 人。本项目核医学科工作人员的工作

制度为两班制，因此工作时间为年诊疗时间的 1/2。医院核医学科各核素预计年病人
数(最大注射量对应人数)及工作人员接触放射性同位素时间如表 9.1.4~9.1.5、表 9.1.7
所示。

本项目核医学科的辐射工作人员及公众成员年有效剂量估算结果见表 11.2.15。

表 11.2.15 年有效剂量估算结果

人员	操作种类	辐射类型	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
本项目 职业人员	^{89}Sr 、 ^{223}Ra 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分 装、取 药、注射	分装	***	***	***	***
		取药	***	***	***	
		注射	***	***	***	
	扫描、摆 位	扫描	***	***	***	***
		摆位	***	***	***	
	^{131}I 自动 分装、观 察服药	分装	***	***	***	***
观察服药		***	***	***		
公众人员	1 楼强电 间、冷冻 水井	留观室北墙	***	***	***	
	1 楼院内 道路	病房 7 东墙	***	***	***	
	1 楼导诊 台	服药处东侧 防护门外	***	***	***	
	1 楼候诊 区	SPECT/CT 机房南墙	***	***	***	
	1 楼传递 间	服药处东南 墙	***	***	***	
	1 楼诊室 1、诊室 2	病房 4 北墙	***	***	***	
	1 楼走廊	病房 2 南墙	***	***	***	
	1 楼应急 通道	病房 1 北墙	***	***	***	
	2 楼医师 室	SPECT/CT 机房顶板上 方	***	***	***	
	2 楼走 廊、过 道、示教 室	病房 4 顶板 上方	***	***	***	
	2 楼库 房、强电 机房、空 调机房、 更衣室、 卫浴间、 更鞋区、 设备室、 工具间、 配液设备	病房 6 顶板 上方	***	***	***	

间、水处理设备间				
负1楼电气间	注射后休息室地板下方	***	***	***
负1楼室内停车场、楼梯间、电梯间	衰变池间北墙	***	***	***
负1楼走廊	衰变池间西墙	***	***	***
医技及门诊急诊楼（一期）	病房5北墙	***	***	***
住院部（一期）	病房5东墙	***	***	***
动力设备中心（二期）	病房6南墙	***	***	***
住院部（二期）	病房2南墙	***	***	***

根据表 11.2.15 估算得,本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量为***~***mSv, 公众人员年有效剂量为***~***mSv, 低于《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 提出的剂量约束值(职业人员 5mSv/a, 公众人员 0.1mSv/a)。因此,本项目核医学科的运行对周围环境及人员活动的辐射影响有限。

11.2.1.6 β 表面污染分析评价

β 表面污染主要是由放射性药物洒落或者施用放射性药物的病人随地吐痰、排泄引起。福建省立医院的非密封放射性物质工作场所运行至今未发生放射性药物洒落事故,且本项目的放射性药品底部设置托盘,发生放射性药品洒落的几率很小。在注射和服用药物后,医生将叮嘱病人严禁随地吐痰,防止对地面产生 β 表面污染。本项目在注射后休息室和甲癌病房中均设置病人专用卫生间,施用放射性药物病人排泄物统一收集,防止 β 表面污染。此外,每次工作结束后,本项目核医学科的工作人员将对项目核医学科工作场所进行 β 表面污染巡测,检测人员在检测过程中,注意保护表面污染检测仪不被沾污,在检测工作结束后,用检测仪器对自身的表面污染水平进行评估,特别是鞋底部分。

通过以上分析可知,在正常情况下,放射性药物产生的 β 表面污染较小。

11.2.2 DSA 运营期环境影响分析

11.2.2.1 机房屏蔽符合性分析

本项目拟配备的 2 台 DSA 最大管电压均不超过 125kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C，机房采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11.2.16。

表 11.2.16 介入手术室机房屏蔽符合性分析

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计参数	折合铅当量 (mmPb)*	标准要求	符合性
手术室 OR10	四周墙体	***	***	有用线束方向铅当量 2.0mmPb，非有用线束方向铅当量 2.0mmPb	符合
	顶板	***	***		符合
	地板	***	***		符合
	防护门	***	***		符合
	观察窗	***	***		符合
手术室 OR16	四周墙体	***	***		符合
	顶板	***	***		符合
	地板	***	***		符合
	防护门	***	***		符合
	观察窗	***	***		符合

注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C，保守估计，125kV 下 200mm 实心砖相当于 1.80mmPb，150mm 混凝土相当于 1.90mmPb。

从机房屏蔽措施符合性分析可知，本项目 2 间介入手术室机房的屏蔽防护措施均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“C 型臂 X 射线设备机房，有用线束方向铅当量 2.0mmPb，非有用线束方向铅当量 2.0mmPb 的标准要求”的要求。

11.2.2.2 DSA 机房周边关注点选取

为分析本项目辐射环境影响，根据院方提供的相关参数及辐射防护设计方案，本评价对项目 2 台 DSA 运行后辐射环境影响采用公式预测和类比分析的方式进行。理论计算时，选取本项目 2 间介入手术室机房的四周墙壁、防护门外和观察窗外表面 30cm 处以及正上方和正下方等区域作为本次评价的关注点，共计 20 个。关注点位置见图 11.2-1~图 11.2-3 所示。



图 11.2-1 介入手术室所在楼层关注点位置

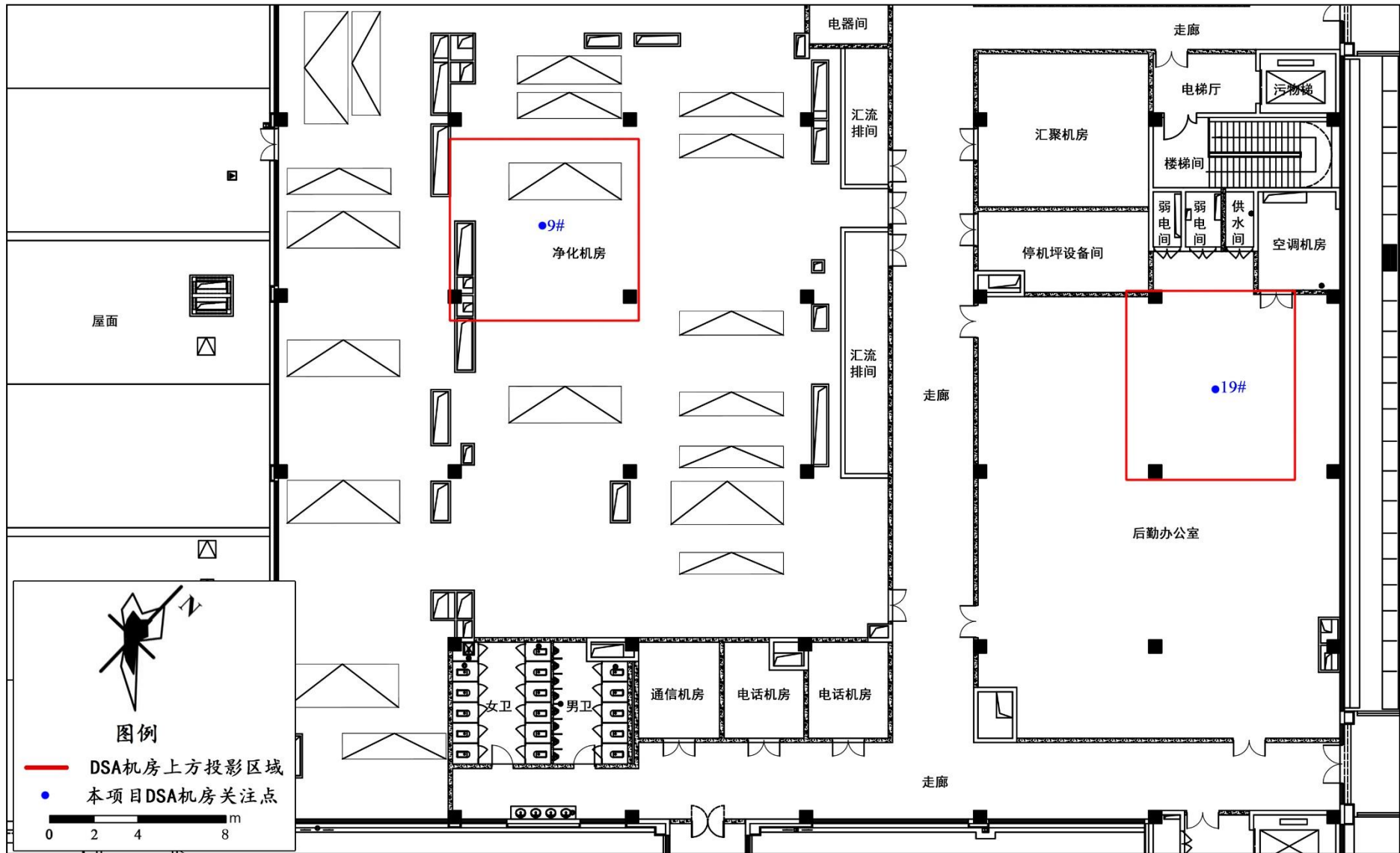
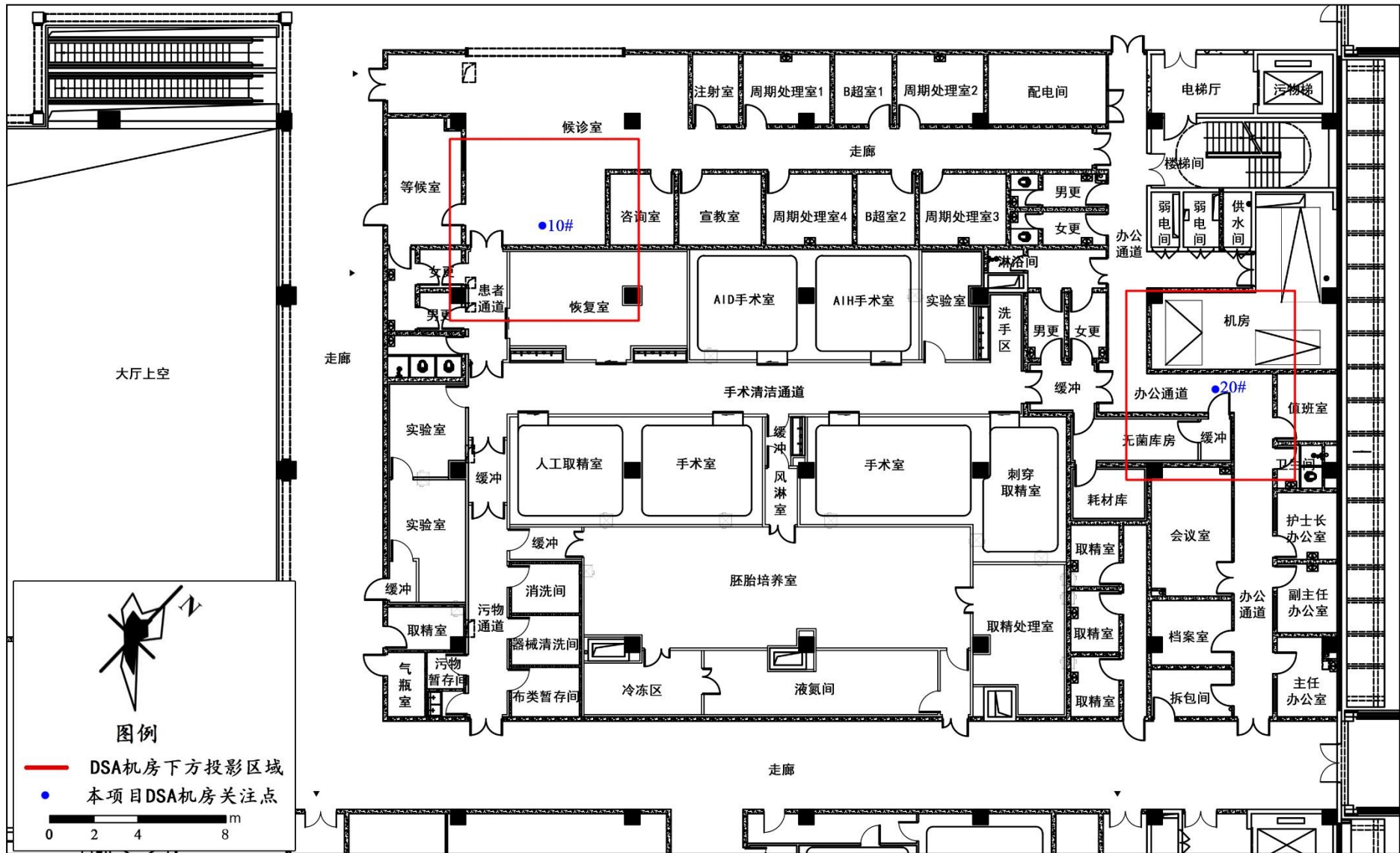


图 11.2-2 介入手术室上方楼层关注点位置



11.2.2.3 辐射工作场所辐射屏蔽预测分析

根据《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》(YYT 0740-2009) 的 5.4.3 及 6.4.3 要求, 透视工况时, 管电压和管电流的任意组合下, 入射皮肤表面的空气比释动能率应不大于 100mGy/min。根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中的 5.8.3 规定, 介入放射学用 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置, 由此可知, 最小焦皮距 SID 为 20cm。

根据方杰主编《辐射防护导论》([M]北京: 原子能出版社, 1991) P69 中 X 射线剂量率的计算公式 (3.1) 可推导出, 主射线在关注点处造成的辐射剂量率公式如下:

$$\dot{H}_0 = \frac{H_X \times r_1^2}{r_2^2} \quad \text{式 (11-12)}$$

式中: \dot{H}_0 ——距出束点 1m 处的剂量率水平 (mGy/h);

\dot{H}_X ——机头 0.2m 处的剂量率水平 (mGy/h), 取 100mGy/min=6000mGy/h;

r_1 ——最小焦皮距 (m), 取 0.2m;

r_2 ——机头至关注点的距离 (m), 取 1m。

根据式 (11-12) 可得出透视工况下距离出束点 1m 处的主束辐射剂量率 \dot{H}_0 为 $2.4 \times 10^5 \mu\text{Gy/h} = 2.4 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ (本项目 DSA 为 X 射线装置, 仅产生 X 射线, 吸收剂量 = 空气比释动能率 + 韧致辐射 (对于 X 射线, 韧致辐射可忽略不计), 根据《电离辐射环境监测与评价》(潘自强) (第 43-44 页), 剂量当量 = 吸收剂量 × 品质因数, X 射线品质因数为 1, 故可认为剂量当量 = 空气比释动能率, 即 1Sv/h=1Gy/h)。

摄影工况的管电流约为透视工况的 50 倍, 则距离靶点 1m 处的最大剂量率约为 $1.2 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ 。

(1) 透视工况

① 泄漏辐射剂量率

泄漏辐射剂量率计算公式参考李德平、潘自强主编《辐射防护手册第一分册辐射与屏蔽》([M]北京: 原子能出版社, 1987) 中 P436 中 X 射线机周围照射量计算公式 (10.8) 进行推导 (推导过程中居留因子 η 、利用因子 u 均取为 1), 则可推导出泄漏辐射剂量率计算公式如下:

$$\dot{H}_z = \frac{\dot{H}_0 \times B \times f}{d^2} \quad \text{式 (11-13)}$$

式中： \dot{H}_z ——关注点漏射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

\dot{H}_0 ——距出束点 1m 处的剂量率水平（ mGy/h ），透视工况下为 $2.4 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ；

d ——机头至各关注点的距离（m）；

f ——机头至各关注点的距离（m）；

B ——透射因子，按照 GBZ 130-2020 附录 C 计算，见式（11-14）；

$$B = \left| \left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right|^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{式 (11-14)}$$

式中： X ——铅当量；

α 、 β 、 γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，采用 GBZ 130-2020 附录 C 表 C.2 数据获得。

通过上式，可计算得透视状态下各关注点处泄漏辐射剂量率，计算结果见表 11.2.17。

表 11.2.17 透视状态下机房周围泄漏辐射剂量率

机房名称	序号	关注点位置	屏蔽折合铅当量 (mmPb)	d (m)	α	β	γ	B 估算结果	\dot{H}_z 估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
手术室 OR10	1#	北墙	***	***	2.219	7.923	0.5386	***	***
	2#	北侧防护门	***	***				***	***
	3#	北侧观察窗	***	***				***	***
	4#	东墙	***	***				***	***
	5#	东侧防护门	***	***				***	***
	6#	南墙	***	***				***	***
	7#	西墙	***	***				***	***
	8#	西侧防护门	***	***				***	***
	9#	顶板上方	***	***				***	***
	10#	底板下方	***	***				***	***
手术室 OR16	11#	北墙	***	***				***	***
	12#	北侧防护门	***	***				***	***
	13#	东墙	***	***				***	***
	14#	南墙	***	***				***	***
	15#	南侧防护门	***	***				***	***
	16#	西墙	***	***				***	***
	17#	西侧防护门	***	***				***	***
	18#	西侧观察窗	***	***				***	***
	19#	顶板上方	***	***				***	***
	20#	底板下方	***	***				***	***

注： α 、 β 、 γ 取《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 C.2 中 125kV（主束）。

② 散射辐射剂量率

对于病人体表的散射 X 射线可以用反照率法估计。散射剂量率采用（采用李德平、潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）中 P437 页给出的公式计算：

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{H}_0 \times \alpha \times S}{d_0^2 \times d_s^2} \times B \quad \text{式 (11-15)}$$

式中： \dot{H}_s ——关注点散射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

α ——受照射物体对入射 X 射线的散射比， $\alpha=a/400$ 其中 a 是相对于 400cm^2 散射面积的受照物体对入射 X 射线的散射比， a 取 0.0013（ 90° 散射角），故 $\alpha=3.25 \times 10^{-6}$ （取自《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》P437 页表 10.1）；

S ——散射面积（ cm^2 ）；此处取 400cm^2 ；

d_0 ——X 射线机与受照体的距离（m），此处取 0.2m；

d_s ——受照体与关注点的距离（m）。

可计算得透视状态下各关注点处散射辐射剂量率，计算结果见表 11.2.18。

表 11.2.18 透视状态下机房周围散射辐射剂量率

机房名称	序号	关注点位置	屏蔽折合铅当量 (mmPb)	d (m)	α	β	γ	B 估算结果	\dot{H}_s 估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
手术室 OR10	1#	北墙	***	***	2.233	7.888	0.7295	***	***
	2#	北侧防护门	***	***				***	***
	3#	北侧观察窗	***	***				***	***
	4#	东墙	***	***				***	***
	5#	东侧防护门	***	***				***	***
	6#	南墙	***	***				***	***
	7#	西墙	***	***				***	***
	8#	西侧防护门	***	***				***	***
	9#	顶板上方	***	***				***	***
	10#	底板下方	***	***				***	***
手术室 OR16	11#	北墙	***	***				***	***
	12#	北侧防护门	***	***				***	***
	13#	东墙	***	***				***	***
	14#	南墙	***	***				***	***
	15#	南侧防护门	***	***				***	***
	16#	西墙	***	***				***	***
	17#	西侧防护门	***	***				***	***
	18#	西侧观察窗	***	***				***	***
	19#	顶板上方	***	***				***	***
	20#	底板下方	***	***				***	***

注： α 、 β 、 γ 取《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 C.2 中 125kV（散射）。

③ 透视工况下机房各关注点总剂量率

透视工况下机房各关注点总剂量率之和结果见表 11.2.19。

表 11.2.19 透视状态下机房周围各关注点总剂量率

机房名称	序号	关注点位置	H_z 泄漏辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	H_s 散射辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	H_{ts} 总剂量率($\mu\text{Sv/h}$)
手术室 OR10	1#	北墙	***	***	***
	2#	北侧防护门	***	***	***
	3#	北侧观察窗	***	***	***
	4#	东墙	***	***	***
	5#	东侧防护门	***	***	***
	6#	南墙	***	***	***
	7#	西墙	***	***	***
	8#	西侧防护门	***	***	***
	9#	顶板上方	***	***	***
	10#	底板下方	***	***	***
手术室 OR16	11#	北墙	***	***	***
	12#	北侧防护门	***	***	***
	13#	东墙	***	***	***
	14#	南墙	***	***	***
	15#	南侧防护门	***	***	***
	16#	西墙	***	***	***
	17#	西侧防护门	***	***	***
	18#	西侧观察窗	***	***	***
	19#	顶板上方	***	***	***
	20#	底板下方	***	***	***

(2) 摄影工况

① 泄漏辐射剂量率

根据式 (11-13)、式 (11-14) 计算得摄影状态下各关注点处泄漏辐射剂量率, 计算结果见表 11.2.20。

表 11.2.20 摄影状态下机房周围泄漏辐射剂量率

机房名称	序号	关注点位置	屏蔽折合铅当量(mmPb)	d (m)	α	β	γ	B 估算结果	H_z 估算结果($\mu\text{Sv/h}$)
手术室 OR10	1#	北墙	***	***	2.219	7.923	0.5386	***	***
	2#	北侧防护门	***	***				***	***
	3#	北侧观察窗	***	***				***	***
	4#	东墙	***	***				***	***
	5#	东侧防护门	***	***				***	***
	6#	南墙	***	***				***	***
	7#	西墙	***	***				***	***
	8#	西侧防护门	***	***				***	***
	9#	顶板上方	***	***				***	***

	10#	底板下方	***	***				***	***
手术室 OR16	11#	北墙	***	***				***	***
	12#	北侧防护门	***	***				***	***
	13#	东墙	***	***				***	***
	14#	南墙	***	***				***	***
	15#	南侧防护门	***	***				***	***
	16#	西墙	***	***				***	***
	17#	西侧防护门	***	***				***	***
	18#	西侧观察窗	***	***				***	***
	19#	顶板上方	***	***				***	***
	20#	底板下方	***	***				***	***

注: α 、 β 、 γ 取《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)表 C.2 中 125kV (主束)。

② 散射辐射剂量率

根据式(11-15)计算得摄影状态下各关注点处散射剂量率, 计算结果见表 11.2.21。

表 11.2.21 透视状态下机房周围散射辐射剂量率

机房名称	序号	关注点位置	屏蔽折合铅当量 (mmPb)	d (m)	α	β	γ	B 估算结果	\dot{H}_s 估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
手术室 OR10	1#	北墙	***	***	2.233	7.888	0.7295	***	***
	2#	北侧防护门	***	***				***	***
	3#	北侧观察窗	***	***				***	***
	4#	东墙	***	***				***	***
	5#	东侧防护门	***	***				***	***
	6#	南墙	***	***				***	***
	7#	西墙	***	***				***	***
	8#	西侧防护门	***	***				***	***
	9#	顶板上方	***	***				***	***
	10#	底板下方	***	***				***	***
手术室 OR16	11#	北墙	***	***				***	***
	12#	北侧防护门	***	***				***	***
	13#	东墙	***	***				***	***
	14#	南墙	***	***				***	***
	15#	南侧防护门	***	***				***	***
	16#	西墙	***	***				***	***
	17#	西侧防护门	***	***				***	***
	18#	西侧观察窗	***	***				***	***
	19#	顶板上方	***	***				***	***
	20#	底板下方	***	***				***	***

注: α 、 β 、 γ 取《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)表 C.2 中 125kV (散射)。

③ 摄影工况下机房各关注点总剂量率

摄影工况下机房各关注点总剂量率之和结果见表 11.2.22。

表 11.2.22 摄影状态下机房周围各关注点总剂量率

机房名称	序号	关注点位置	\dot{H}_z 泄漏辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_s 散射辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_{ts} 总剂量率($\mu\text{Sv/h}$)
手术室 OR10	1#	北墙	***	***	***
	2#	北侧防护门	***	***	***
	3#	北侧观察窗	***	***	***
	4#	东墙	***	***	***
	5#	东侧防护门	***	***	***
	6#	南墙	***	***	***
	7#	西墙	***	***	***
	8#	西侧防护门	***	***	***
	9#	顶板上方	***	***	***
	10#	底板下方	***	***	***
手术室 OR16	11#	北墙	***	***	***
	12#	北侧防护门	***	***	***
	13#	东墙	***	***	***
	14#	南墙	***	***	***
	15#	南侧防护门	***	***	***
	16#	西墙	***	***	***
	17#	西侧防护门	***	***	***
	18#	西侧观察窗	***	***	***
	19#	顶板上方	***	***	***
	20#	底板下方	***	***	***

(3) 小结

根据表 11.2.19 和表 11.2.22 估算结果可知, 本项目 DSA 在透视模式下, 2 间机房防护门/观察窗外的辐射剂量率最大, 分别为 6.61×10^{-3} 和 $7.56 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$; 在摄影模式下, 2 间机房防护门/观察窗外的辐射剂量率最大, 分别为 0.33 和 $0.38 \mu\text{Sv/h}$, 均能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求, 即介入手术室屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.2.4 辐射工作场所辐射屏蔽预测分析

(1) 类比对象的选取

本报告采用类比监测的方法评价本项目 2 台 DSA 运行阶段的辐射影响, 本项目采用的类比对象及类比情况见表 11.2.23。

表 11.2.23 DSA 项目类比情况一览表

项目	类比对象	本项目 DSA *	对比结果
建设单位	固始县人民医院	福建省立医院	/
型号	Allura xper FD20	待定	/
最大管电压 (kV) /最大管电流 (mA)	125kV, 1250mA	125kV, 1200mA	类似
四壁屏蔽	24cm 砖墙+3cm 硫酸钡沙 (约合 5.3mmPb)	***	本项目优
防护门	3mmPb 铅板	***	本项目优
观察窗	3mmPb 铅玻璃	***	本项目优
顶板	20cm 混凝土+1.5mmPb 当量铅板 (约合 4.1mmPb)	***	本项目优
DSA 机房面积	30m ²	***	本项目优

注：本项目 2 台 DSA 参数一致，且各自所在机房的防护设计一致。

(2) 类比可行性分析

①本项目 2 台 DSA 的最大管电压均小于 125kV、最大管电流均小于 1200mA，与类比 DSA 技术参数类似，且正常开机工况基本相同；

②本项目 2 间机房的整体屏蔽防护能力优于类比对象的屏蔽防护能力；

③本项目 2 间机房的有效使用面积大于类比对象；

④类比 DSA 的验收监测为射线装置正常开机工况下进行，具有一定的代表性。

综上所述，固始县人民医院 Allura xper FD20 型 DSA 作为本项目类比对象是可行的，其验收监测数据可作为本项目类比监测数据。

(3) 类比结果分析

固始县人民医院于 2017 年 8 月委托郑州新知力科技有限公司对医院 Allura xper FD20 型 DSA 进行了验收监测，验收监测结果见表 11.2.24。

表 11.2.24 固始县人民医院 DSA 项目竣工验收监测结果

点位编号	点位描述	检测结果 (X-γ 辐射剂量率, nSv/h)		
		关机	透视	摄影
1	控制室内人员操作位	***	***	***
2	控制室内电缆沟处	***	***	***
3	病人出口门左上门缝处	***	***	***
4	病人出口门右上门缝处	***	***	***
5	病人出口门中心	***	***	***
6	病人出口门左下门缝处	***	***	***
7	病人出口门右下门缝处	***	***	***
8	病人出口侧通道墙面中央	***	***	***
9	设备机房门左上门缝处	***	***	***
10	设备机房门右上门缝处	***	***	***
11	设备机房门中心	***	***	***
12	设备机房门左下门缝处	***	***	***
13	设备机房门右下门缝处	***	***	***
14	设备机房中心	***	***	***
15	东墙外表面中央	***	***	***
16	病人入口门左上门缝处	***	***	***
17	病人入口门右上门缝处	***	***	***
18	病人入口门中心	***	***	***
19	病人入口左下门缝处	***	***	***
20	病人入口右下门缝处	***	***	***
21	储物间南墙中央	***	***	***
22	洗手区南墙中央	***	***	***
23	缓冲区中央	***	***	***
24	医生出入门左上门缝处	***	***	***
25	医生出入门右上门缝处	***	***	***
26	医生出入门中心	***	***	***
27	医生出入门左下门缝处	***	***	***
28	医生出入门右下门缝处	***	***	***
29	观察窗左上角	***	***	***
30	观察窗右上角	***	***	***
31	观察窗中心	***	***	***
32	观察窗左下角	***	***	***
33	观察窗右下角	***	***	***
34	二楼放射科办公室中心	***	***	***

从表 11.2.24 监测结果可知, 固始县人民医院 DSA 设备在透视状态下机房周围各

监测点位 X-γ 辐射剂量率最高为***nSv/h (***)μSv/h)，位于病人出口门右下门缝处，摄影状态下机房周围各监测点位 X-γ 辐射剂量率最高为***nSv/h (***)μSv/h)，位于病人出口门左下门缝处，可满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）规定的机房周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h 的要求。

通过理论计算和类比分析，本项目 2 台 DSA 投入使用后，正常运行时，2 间机房墙体外表面 30cm 及周围防护均能满足 GBZ 130-2020 的要求。因此，本项目采取的防护措施是合理的。

11.2.2.5 年有效剂量估算

根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述，确定项目不同场所的居留因子。本次 DSA 项目不同场所的居留因子详见表 11.2.25。

表 11.2.25 DSA 项目不同场所的居留因子

人员		居留因子	场所描述
职业人员		1	手术室 OR10 及其北侧控制室和机房、手术室 OR16 及其西侧控制室和机房
公众人员	其他医护人员、其他工作人员、病人及病人家属	1	2 楼：咨询室、值班室； 3 楼：手术室 OR11、手术室 OR11； 4 楼：后勤办公室； 医技及门急诊楼（一期）；
		1/2	2 楼：恢复室；
		1/5	2 楼：患者通道、办公通道、会议室、缓冲间； 3 楼：走廊、污物通道；
		1/20	2 楼：更衣室、机房、无菌库房、耗材库、卫生间； 3 楼：预处置间； 4 楼：净化机房；

项目致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 公式计算。

$$H_E = D_r \times t \times 1 \times 10^{-6} \quad \text{式 (11-16)}$$

式中： H_E ——γ 射线外照射人均有效剂量当量（mSv/a）；

D_r ——γ 射线空气吸收剂量率（nGy/h）；

t ——γ 射线年照射时间（h）；

1——剂量换算系数（Sv/Gy）。

(1) 介入手术室内辐射工作人员年有效剂量

进行介入手术时，至少需 1 名医生和 1 名护士在介入手术室内对患者进行手术。

根据医院提供的资料，曝光时第一术者位医生穿戴铅衣、铅围裙、铅帽、铅眼镜等防护用品，位于铅吊屏和床侧铅帘后；第二术者位护士穿戴铅衣等防护用品，位于移动式铅屏风后。

为了解介入手术室内辐射工作人员吸收剂量率，本次评价采用类比的方式进行预测。类比对象与本项目类比可行性分析见表 11.2.26。从表中可以看出浙江医院 DSA 最大管电压和管电流均高于本项目，防护吊屏铅当量与本项目相同；其在检测时，DSA 均处于工作负荷较高水平，可以反映出手术室内工作人员受到的辐射情况；为此本评价采用该项目作为医护人员可能受到的辐射情况的类比对象。

表 11.2.26 介入手术室内辐射工作人员吸收剂量率类比预测类比条件一览表

项目	类比对象	本项目 DSA*	对比结果
建设单位	浙江医院	福建省立医院	/
型号	Allura xper FD20	待定	/
最大管电压 (kV) /最大管电流 (mA)	150kV, 1250mA	125kV, 1200mA	本项目低
运行工况	摄影工况：管电压在 50~100kV 之间，管电流在 1~500mA 左右	摄影工况：管电压 119kV，管电流 619mA	本项目低
防护吊屏铅当量 (mm)	0.5	0.5	相同

注：本项目 2 台 DSA 参数、运行工况一致，且各自所在机房的防护设计一致。

检测单位：环境保护部辐射环境监测技术中心。

检测结果：医生操作位 6.55 μ Sv/h。

根据建设单位提供的资料，每台 DSA 年透视工作时间为 500h、年摄影工作时间为 100h；每间手术室均拟安排 6 名介入医生、护士，采取轮岗的形式进行检查和手术，单名医生、护士年最大手术台数为 1000 台，工作制度为两班制。本项目 2 间介入手术室内工作人员附加年有效剂量估算见表 11.2.27。

表 11.2.27 介入手术室机房内工作人员附加年有效剂量估算

工作情况	附加剂量率 (μ Sv/h)	曝光时间 (h)	居留因子	年受照剂量 (mSv/a)
透视	***	***	***	***
摄影	***	***	***	***
合计	/	***	/	***

(2) 控制室辐射工作人员和周边公众人员年有效剂量

根据建设单位提供的资料，每间手术室的控制室内均拟安排辐射工作人员 4 人，

工作制度为两班制。本项目 2 间介入手术室内工作人员附加年有效剂量估算见表 11.2.28。

表 11.2.28 介入手术室周边的年有效剂量估算结果

人员	关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 (μSv/h)	居留因子	工作时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)	
本项目职业人员	手术室 OR10 控制室工作人员	手术室 OR10 北侧观察窗	***	1	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR16 控制室工作人员	手术室 OR16 西侧观察窗	***	1	***	***	***
			***			***	
公众人员	手术室 OR10 东侧走廊	手术室 OR10 东侧防护门	***	1/5	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR10 南侧手术室 OR11	手术室 OR10 南墙	***	1	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR10 西侧走廊	手术室 OR10 西侧防护门	***	1/5	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR10 下方咨询室	手术室 OR10 底板下方	***	1	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR10 上方净化机房	手术室 OR10 顶板上方	***	1/20	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR16 北侧污物通道	手术室 OR16 北侧防护门	***	1/5	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR16 东侧污物通道	手术室 OR16 东墙	***	1/5	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR16 南侧手术室 OR17	手术室 OR16 南墙	***	1	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR16 南侧走廊	手术室 OR16 南侧防护门	***	1/5	***	***	***
			***			***	
	手术室 OR16 下方值班室	手术室 OR16 底板下方	***	1	***	***	***
			***			***	
手术室 OR16 上方后勤办公室	手术室 OR16 顶板上方	***	1	***	***	***	
		***			***		
医技及门急诊楼 (一期)	手术室 OR16 东墙	***	1	***	***	***	
		***			***		

从表 11.2.27 和表 11.2.27 估算结果可以看出，本项目介入手术室辐射工作人员年有效剂量最大值为***~**mSv，公众人员年有效剂量为***~***mSv，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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，公众人员 0.1mSv/a）。

11.2.3 人员辐射剂量叠加影响分析

福建省立医院南院现射线装置工作场所的选址、场所布局和防护设计均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。根据医院已提交的 2022 年度辐射工作场所检测报告，该院辐射场所监测未出现超标情况。

本项目是在现有南院核技术利用项目的基础上，在医技及门急诊楼（二期）1 楼增加核医学科项目，在医技及门急诊楼（二期）3 楼新增 DSA 项目，因此需考虑本项目对周边人员的辐射剂量叠加影响。综合本项目工作场所与周边敏感点之间距离和墙体等因素，本评价主要考虑项目同时运行时对医技及门急诊楼（一期）的辐射剂量叠加影响，即***mSv。

根据上述分析可以看出，本次福建省立医院南院核技术利用项目运营后，本项目辐射工作人员年有效剂量为***~***mSv；公众人员年有效剂量为***~***mSv，均低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）以及本报告提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。此外，根据杭州普洛赛斯检测科技有限公司提供的《福建省立金山医院放射工作人员 2022 年 1 月-2022 年 12 月年度职业外照射个人剂量监测结果通知单》，现有辐射工作人员个人剂量监测年统计结果中年总有效剂量最大值为***mSv，加上本项目对辐射工作人员的最大影响（***mSv）为***mSv，仍低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）以及本报告提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

11.2.4 三废的环境影响分析

11.2.4.1 放射性废水环境影响分析

项目放射性废水主要为在医院观察期间 ^{99m}Tc 的患者排泄物、呕吐物和放射性药品操作过程的去污洗涤液，以及甲癌患者在住院期间生活废水和出院后场所的清洁废水。

本项目核医学科设置 2 套槽式放射性废液衰变池，其中缓冲间、分装注射室、注射后休息室、运动/急救室和留观区等区域产生的放射性废水排入 1#槽式放射性废液衰变池，各甲癌病房产生的放射性废水排入 2#槽式放射性废液衰变池。项目 2 套槽式放射性废液衰变池均位于医技及门急诊楼（二期）东南侧绿化带和院内道路下方的衰

变池间内，衰变池间北墙采用***，南墙采用***，西墙采用***，顶板采用***。衰变池间内设导流墙和集水沟，各污泥池和衰变池设置耐酸碱腐蚀、内壁光滑、防止渗漏防水等处理措施，并在各污泥池池底均设有防止和去除污泥硬化淤积的措施。衰变池间上方设有电离辐射警告标志，放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管，部分暴露的污水管道采用外包 5mmPb 铅板进行防护，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中相应要求。

（1）衰变池废水量分析

根据 11.2.1.3 分析可知，本项目排入 1#槽式放射性废液衰变池的含 ^{99m}Tc 放射性废水量约 0.48t/d，1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 3 个衰变池，每级衰变池有效容积为 5.4m^3 ，能容纳约 11 个诊断日（15 天）的放射性废水。在不考虑单个池子在存储期间的衰变影响情况下，3 号衰变池水液面达到设定液位时，1 号池内放射性废水至少存放 30 天。

项目排入 2#槽式放射性废液衰变池的含 ^{131}I 放射性废水量约 0.936t/d，2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 4 个衰变池，每级衰变池有效容积为 50.625m^3 ，54 个治疗日（9 周，63 天）的放射性废水。在不考虑单个池子在存储期间的衰变影响情况下，4 号衰变池水液面达到设定液位时，1 号池内放射性废水至少存放 162 个治疗日（27 周，189 天）。

因此，本项目 2 套槽式放射性废液衰变池的容量设计均符合要求。

（2）衰变池排放活度分析

根据表 11.2.9 分析可知，项目放射性废水分别经 2 套槽式放射性废液衰变池衰变后， ^{99m}Tc 的排放活度为 $4.84 \times 10^{-26}\text{Bq}$ ， ^{131}I 的排放活度为 $4.29 \times 10^4\text{Bq}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中单次排放的活度低于 ALI_{min} 和单月排放活度低于 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ 的要求，详见表 11.2.30。

表 11.2.30 本项目放射性废水的排放活度计算结果

核素名称	单个池子内放射性核素最大活度 (MBq)	衰变后的活度 (Bq)	ALI_{min} 一次排放限值 (Bq)	$10\text{ALI}_{\text{min}}$ 月排放限值 (Bq)
^{99m}Tc	***	***	***	***
^{131}I	***	***	***	***

（3）衰变池排放总 β 比活度分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“附录 H”，SPECT/CT

区域使用核素 ^{99m}Tc 不涉及 β 衰变，因此本评价主要采用核素 ^{131}I 的总排放对衰变池排放总 β 比活度进行分析。

放射性废水内核素的总 β 比活度计算公式为：

$$C = \frac{A}{V} \quad \text{式 (11-17)}$$

式中： C ——放射性废水内核素的总 β 比活度，Bq/L；

A ——衰变后排放活度，Bq/d；

V ——总排水量，L/d。

表 11.2.31 衰变池放射性废水的总 β 比活度计算结果

核素名称	^{131}I
衰变后总排放活度 (Bq/d)	***
总排水量 (L/d)	***
放射性废水内总 β 比活度 (Bq/L)	***

本项目含 ^{131}I 放射性废水经 2#槽式放射性废液衰变池衰变后，总 β 比活度为 ***Bq/L。本项目放射性废水均经过监测符合要求后，排至医院下水管网，并经医院污水处理站再行处理，处理满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）后，流入市政污水管网最终排入地表水，放射性核素产生的辐射影响是可忽略的。

11.2.4.2 放射性固体废物环境影响分析

本项目放射性固体废物主要为核医学科的剩余放射性药物、槽式放射性废液衰变池的污泥、废活性炭以及使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性杯子、餐具等被非密封放射性物质污染的物品。

(1) 非密封放射性物质污染的物品

① ^{89}Sr 和 ^{223}Ra

^{89}Sr 核素最大患者数总计 2 人/d(200 人/a)， ^{223}Ra 核素最大患者数总计 3 人/d(300 人/a)，每周治疗 2 天，固废产生系数为 0.05kg/人次，SPECT 区域工作场所日产生受污染的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套等含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性固体废物约 0.25kg/d (约合 0.5L/d)。医院在分装注射室和注射处内各设置 1 个衰变桶 (共计 2 个，10L/个，5mmPb)，收集含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性固体废物，当日工作结束后收集分装注射室和注射处产生的含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 放射性固体废物至分装注射室的废物间的 3 个衰变桶 (50L/个，5mmPb) 中贮存衰变。 ^{89}Sr 核素的 10 个半衰期为 505.3 天

(约 72 周), ^{223}Ra 核素的 10 个半衰期为 114.4 天 (约 17 周), 而单个 50L 衰变桶可贮存含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 放射性固体废物约为 100 个治疗日 (约 50 周), 则当第 3 个 50L 衰变桶贮存满时, 第 1 个 50L 衰变桶内放射性固体废物已贮存 200 个治疗日 (约 100 周), 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“7.2.3.1 b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍”的要求。

② $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素污染的物品

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素最大患者数总计 30 人/d, 每周诊断 5 天, SPECT 区域工作场所日产生受污染的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套等含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物约 1.5kg/d (约合 3L/d)。医院在注射后休息室、运动/急救室、留观室、分装注射室和注射处内各设置 1 个衰变桶 (共计 5 个, 10L/个, 5mmPb), 收集含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物, 当日工作结束后收集各场所产生的含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性固体废物至分装注射室的废物间的 2 个衰变桶 (100L/个, 5mmPb) 中贮存衰变。单个 100L 衰变桶可贮存含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性固体废物约为 33 个诊断日 (45 天), 则当第 2 个 100L 衰变桶贮存满时, 第 1 个 100L 衰变桶内放射性固体废物已贮存 45 天, 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“7.2.3.1 a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天”的要求。

③ ^{131}I 核素污染的物品

^{131}I 核素最大患者数总计 5 人/d, 每周接受患者 2 批次 (每周一、二), 每批次治疗时间为 5 天, 每月 8 批次, 根据同类型医院情况, 患者住院过程中的固废产生系数可保守按 0.5kg/人次, 因此甲癌治疗区域工作场所每周产生受污染的擦拭废纸、一次性杯子和餐具等含 ^{131}I 的放射性固体废物约 25kg (约合 50L)。医院在服药区和每间甲癌病房内各设置 1 个衰变桶 (共计 7 个, 10L/个, 20mmPb), 收集含 ^{131}I 的放射性固体废物, 每周病人出院后收集各场所产生的含 ^{131}I 放射性固体废物至甲癌治疗区域的污被/固废间的 5 个衰变桶 (325L/个, 20mmPb) 中贮存衰变。单个 325L 衰变桶可贮存含 ^{131}I 放射性固体废物约为 6.5 周 (150 天), 则当第 5 个 325L 衰变桶贮存满时, 第 1 个 100L 衰变桶内放射性固体废物已贮存 26 周 (182 天), 满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“7.2.3.1 c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。”的要求。

(2) 剩余放射性药物

当日剩余的放射性药物暂存于分装注射室的 2 个手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收，对周围环境产生影响较小。

(3) 废活性炭

根据厂家提供资料，放射性废气排放管道中的活性炭每半年更换一次，单个手套箱内的活性炭棉约为 0.5kg，单个排放口活性炭过滤装置内的装填活性炭量约为 8kg。SPECT 区域、分装注射室和 1#手套箱等 2 套通风系统的废活性炭每半年的产生量约合 16.5kg（约 33L），均送至分装注射室废物间的 2 个废活性炭专用衰变桶（100L/个，5mmPb）内贮存衰变。单个 100L 衰变桶可贮存该部分废活性炭约为 1.5 年（约 547.5d），则当第 2 个 100L 衰变桶贮存满时，第 1 个 100L 衰变桶内废活性炭已贮存 547.5d，大于 ^{89}Sr 药物 10 个半衰期（505.3d），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“7.2.3.1 b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍”的要求。

甲癌治疗区域的服药处、污洗间、各甲癌病房以及污被/固废间和 2#手套箱等 2 套通风系统的废活性炭每半年的产生量约合 24.5kg（约 49L），均送至甲癌治疗区域污被/固废间的 2 个废活性炭专用衰变桶（100L/个，20mmPb）内贮存衰变。单个 100L 衰变桶可贮存该部分废活性炭约为 1 年（约 365d），则当第 2 个 100L 衰变桶贮存满时，第 1 个 100L 衰变桶内废活性炭已贮存 365d，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“7.2.3.1 c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。”的要求。

本项目废活性炭经各衰变桶衰变，达到解控水平后作为一般医疗废物处理，对周围环境产生影响较小。

(4) 槽式放射性废液衰变池的污泥

院方定期委托有资质的单位清掏 2 套槽式放射性废液衰变池的污泥，清掏前保证 1#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 30 天的贮存衰变，2#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 180 天的贮存衰变，达到解控水平后作为一般医疗废物处理，对周围环境产生影响较小。

11.2.4.3 放射性废气环境影响分析

本项目放射性废气主要产生于放射性核素在操作过程中产生微量放射性气溶胶。项目共设置 5 套通风系统，气流流向遵循自监督区向控制区的方向设计，均设置防回

风阀，防止放射性废气在特殊状态下逆流，其中手套箱内风速不小于 0.5m/s。

项目分装注射室内的 1#手套箱和 2#手套箱（均内含活性炭过滤装置）以及甲癌治疗区域的污被/固废间分别单独设计一个排风管道；注射处、注射后休息室、运动/急救室、SPECT/CT 机房、留观室、SPECT 区域的患者走道和分装注射室及其废物间、缓冲间的排风汇集于一个管道；甲癌治疗区域的服药处、污洗间、各甲癌病房的排风汇集于一个管道，各场所内均保持良好的通风条件。各场所产生的放射性废气由支管道汇入主管道，后通过注射后休息室卫生间顶部的排风井直通医技及门急诊楼（二期）楼顶。医技及门急诊楼（二期）楼顶设置活性炭过滤装置，一般半年更换一次，项目产生的放射性废气最终经楼顶的活性炭过滤装置处理后，通过 5 个高出屋脊的排放口排放。此外，医院应加强排放口日常管理工作，保证通风系统正常运行。

通过上述处理措施，能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的相关要求，能够有效防止放射性气体对周围环境产生的影响。

11.2.4.4 非放射性废气环境影响分析

项目 SPECT/CT 和 DSA 机在工作状态时，X 射线与各机房内空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。本项目 SPECT/CT 和 DSA 机房内均设有排风管道，少量的臭氧和氮氧化物通过机房的通风系统引至医技及门急诊楼（二期）楼顶排出，弥散在大气环境中，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 辐射事故影响识别

主要考虑 DSA 机和 CT 误照射，以及药物失控对环境的影响。

（1）辐射工作人员、检查管理人员或检修维护人员在 DSA 机和 CT 设备开机状态下误入、滞留机房造成的误照射。

（2）由于工作人员操作不熟练或违反辐射操作规程或误操作等其他原因造成的放射性药物泄漏，造成意外照射和辐射污染。

（3）保管不善造成放射性药物丢失，造成对公众和周围环境辐射污染。

（4）核素诊疗患者注射或服药后未按规定线路离开，随意走动，导致对医护人员或公众遭受较大的外照射。

(5) 注射器排气时挤出放射性药物、注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，导致放射性药物漏洒。

(6) 由于驾驶人失误或车辆失控等原因，室内停车场的车辆撞击衰变池间，进而导致放射性废液衰变池出现破损，放射性废液外溢，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

(7) 放射性废物管理不善

① 放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

② 放射性废液衰变池出现破损，导致放射性废液外溢，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

③ 通风系统排放口的活性炭过滤装置失效，导致放射性废气未经处理排放，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

④ 放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

11.3.2 辐射事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制订相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，使辐射环境风险控制在可接受水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能地减小或控制事故的危害和影响：

(1) 制定完善的操作规程，对操作人员定期培训，使之能熟练操作，严格依照操作规程操作，减少药物撒漏事故的发生。若发生撒漏等事故后，应迅速用药棉或纸巾从污染区的边沿向中心进行擦抹，以防止污染扩散，并采用塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，直至擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染不能满足 GB 18871-2002 要求（即控制区的工作台、设备、墙壁、地面小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区的工作台、设备、墙壁、地面小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，工作服、手套、工作鞋小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手、皮肤、内衣、工作袜小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ），应采用酒精浸湿药棉或纸巾继续擦拭，直到满足 GB 18871-2002 要求。擦拭物应收集到放射性固体废物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

(2) 完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用和登记工作，确保放射性药物的安全。

(3) 加强对患者的管理，严禁注射后的患者随地吐痰；在不影响诊断和治疗的情况下限制用药量。

(4) 辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查各辐射工作场所和设备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。

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

(6) 将本项目纳入辐射事故应急预案体系中，并定期演练。发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门、公安部门和卫生部门报告。

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

12.1.1 机构设置

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，配套使用 III 类射线装置；使用 II 类射线装置。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》中规定，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，并以文件形式明确其管理职责。为此，医院已设立以***为组长的放射防护领导小组，负责医院日常辐射安全防护管理工作。

(1) 福建省立医院放射防护领导小组

(2) 主要职责

①制订本院辐射安全与防护工作的计划和总结；对辐射安全控制效果进行评议；定期对突发辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订。

②每年定期召开工作会议 1~2 次，研究辐射安全与防护工作中存在的问题，提出建议和措施。

③负责对全院辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施贯彻落实情况。

④负责监督本院放射诊疗人员的健康档案管理。

⑤组织实施放射诊疗工作人员关于辐射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训工作。

⑥会同上级有关部门按有关规定调查和处理辐射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

12.1.2 辐射工作人员配备及培训情况

依据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，使用射线装置操作人员与辐射防护负责人应进行辐射安全培训，并持证上岗，对应本项目的辐射工作人员应接受初级辐射安全培训。

本项目拟安排的辐射工作人员 30 人，均为新增人员，新进的辐射工作人员应及

时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。

新录用或调入的拟从事放射诊疗的人员必须进行上岗前职业健康检查，符合《放射工作人员健康标准》的方可从事放射诊疗工作。放射工作人员在工作期间必须按规定佩戴个人剂量计，并按时定期送检，每3个月检测一次，一年四次。检测结果抄录在《放射工作人员证》中。所有放射工作人员上岗后间隔不超过2年进行一次职业健康检查。

12.2 辐射安全管理规章制度

福建省立医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，现有辐射防护设施运行、维护、检测工作正常，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好，现已成立了放射防护领导小组，制定一系列辐射安全管理制度。

(1) 为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了以省急救中心副主任郑晓春为组长的放射防护领导小组，负责医院日常辐射安全防护管理工作。

(2) 医院已建立《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作定期自查和监测制度》、《放射性同位素与射线装置质量保证方案》、《射线装置检修和维护制度》，对放射科人员的防护意识、资质、技术操作等作出规定；要求严格按照操作说明书及维护保养手册，检修和维护保养射线装置。

(3) 医院制订了《放射工作人员管理制度》，要求放射工作人员上岗前，应当进行上岗前健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作；医院组织上岗后的放射工作人员定期进行在岗期间的健康检查，周期一般为1~2年；并为放射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。

(4) 制定管理制度，已安排专人及时更新射线装置台账，和负责开展年度的辐射安全评估报告。

(5) 制定“三废处置”、监测方案、岗位职责等制度，建立完善的放射性同位素、射线装置台账、放射性废物处置台账、废水台账等。

医院在上述管理制度的基础上，制订了《辐射防护工作档案管理制度》、《个人防护用品使用与管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性同位素及射线装置使用登记制度》、《放射性同位素及射线装置台帐管理制度》等配套制度，以完

善医院放射工作管理体系，并严格遵守执行。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，医院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、辐射监测等仪器，使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。

福建省立医院为本项目核医学科拟配备 1 台便携式辐射监测仪、8 枚个人剂量计、2 台 α/β 表面沾污仪以及铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品（均为 0.5mmPb）4 套、1 套放射性污染防护服，在 SPECT/CT 机房、分装注射室和甲癌治疗区域内分别配备 1 台固定式辐射监测仪；为本项目每间介入手术室均配备 1 台便携式辐射监测仪、1 台个人剂量报警仪和 20 枚个人剂量计，每间介入手术室的工作人员均配备铅围裙、铅颈套、铅帽、铅防护眼镜（均为 0.5mmPb）5 套，3 副介入防护手套（0.025mmPb）和 1 个移动铅防护屏风（2mmPb），为每间介入手术室的受检者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb），为陪检者配备 1 件铅衣（0.5mmPb）。项目运行后医院定期对核医学科和介入手术室周围环境辐射水平进行监测，并做好监测记录。

12.3.2 辐射工作场所监测

（1）日常监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国生态环境部令第 3 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国生态环境部令第 18 号）中的相关要求，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测。并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便了解和监护防护设施的运行情况，为主管部门下一步辐射防护决策提供科学技术依据。根据医院 2022 年度辐射工作场所检测报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

具体监测方案如下：

- ① 每年委托有资质的单位对辐射工作场所及环周围环境辐射水平进行监测，于每

年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

② 监测项目：辐射剂量率、 α 表面污染、 β 表面污染、总 α 、总 β 、土壤和废气中放射性活度。

③ 监测频度：见表 12.3.1。

④ 监测范围：主要对辐射工作场所及周围进行监测，其中，重点对控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面进行辐射水平的监测；重点对核医学科的操作台、设备表面、墙壁和地面、注射后休息室、注射后等候室、留观室、衰变桶和包装袋表面，以及工作人员的手、皮肤暴露部分和工作服、手套、鞋、帽等进行表面放射性污染的监测。

⑤ 定期检查工作场所的辐射水平，周期：每月 1 次；定期检查工作场所的表面放射性污染，周期：每次工作结束。

（2）本项目验收监测计划

本项目工作场所建成后，及时组织开展竣工环保验收工作，并根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关规定对辐射工作场所开展竣工环保验收监测。本项目竣工环境保护验收辐射监测计划见表 12.3.1。

12.3.3 个人剂量监测

所有进入控制室从事辐射工作的人员均需佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，以及医院已建立的《辐射防护工作档案管理制度》，落实个人剂量档案。医院应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，并向生态环境部门报告。

本项目工作人员也将委托有资质的第三方检测机构对个人剂量进行在岗、岗后的持续监测，并做好档案管理。

12.3.4 项目辐射监测计划汇总

福建省立医院针对本次核技术应用项目制定相应的辐射监测计划汇总见表 12.3.1。

表 12.3.1 本项目辐射监测计划

监测对象	监测点位	监测方案	监测项目	年度监测频率
核医学科	本项目核医学科各功能室屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙处、操作台等，以及核医学科四周和上方以及衰变池上方活动场所、进出通道外；对操作台、设备表面、墙壁和地面、注射后休息室、留观室、衰变桶和包装袋表面，以及工作人员的手、皮肤暴露部分和工作服、手套、鞋、帽等。	实测	辐射剂量率、 β 表面污染	辐射水平：每年 1 次委托有资质单位监测；每月 1 次设备科巡测； 表面放射性污染：每次工作结束
介入手术室	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处，观察窗、楼上、楼下等	实测	辐射剂量率	
敏感点	周围环境监测点位（参考图 8.2-7）	实测		每年 1 次委托有资质单位监测
土壤	周边 50m 范围内土壤	实测	总放射性活度	
污染物	放射性废气排放口	实测	总放射性活度	
	2 套槽式放射性废液衰变池出口	实测	总 α 、总 β	每次排入污水处理站前
	固废表面	实测	α 表面污染、 β 表面污染	每次清运前
辐射工作人员	佩戴个人辐射剂量计	实测	累计计量	每季度 1 次委托有资质单位监测

12.4 辐射事故应急处置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备”的规定，福建省立医院为使用放射源、同位素和射线装置的单位，已建立《福建省立医院辐射事故应急处理预案》。

预案根据《放射性同位素与射线装置安全与防护条例》（国务院第 449 号令）和《放射性同位素及射线事故管理规定》等相关文件精神，并结合医院实际进行编制，预案主要包括：（1）总则；（2）单位基本情况；（3）辐射事故分级；（4）应急响应组织体系及职责；（5）应急响应；（6）事故报告；（7）应急预案程序与后续整改；（8）预案管理。

12.4.1 应急机构设置和职责分工

（1）应急机构

医院成立辐射事故应急处理领导小组，组长为***，小组成员主要由各有关科室负责人共同组成，组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。当放射事故/事件发生时，在辐射事故应急处理领导小组的统一指挥下，积极调动各方资源确保现场救护和后勤保障。

(2) 机构主要职责

① 在上级核和辐射事故应急领导小组统一指挥下，贯彻执行国家、省核和辐射事故应急工作方针和应急预案。

② 组织本院核和辐射安全有关工作规范规章制度、卫生应急预案的制订、修订；并对规章制度执行情况定期进行检查。

③ 经常向医务员工进行安全教育培训，组织开展省级核和辐射事故卫生应急方面的培训和演练。

④ 组织有关职能科室定期进行安全检查或根据公安、卫生、生态环境等监督机关的通知，有计划有步骤地采取防范措施，迅速消除隐患，防止事故发生。

⑤ 负责协调全院的放射源管理工作中的各项问题，对各项具体分工进行监督检查。

⑥ 组织协调全院各处（科）室开展核和辐射事故卫生应急准备和响应工作。若本单位发生因放射源处理不当而发生火灾、爆炸、泄漏、中毒、伤亡等事故，及时组织力量扑救处理，并认真做好善后工作。同时，根据事故性质，严肃追究有关人员责任。

⑦ 发生非本院的核和辐射事故，根据本单位职责，做好事发地和群众临时安置点伤病员医疗救治，防范和处置传染病疫情及突发公共卫生事件，依法实施饮用水卫生监管，保障临床用血安全等工作，完成上级核和辐射事故卫生应急领导小组安排的其他任务。

⑧ 组织专家对事故进行分析评估，总结经验教训，提出对策建议，防止事故再度发生。

12.4.2 应急处置原则

放射事件应急处置遵循及时发现、及时报告、快速反应、及时控制、保护现场、收集证据的原则，实现应急工作的科学化、规范化。

12.5.3 放射事件报告程序

(一) 发生辐射事故后，立即关闭辐射源（如关闭射线装置应急开关等），立即撤离有关工作人员和受检者，封锁现场；禁止无关人员进入辐射区，同时报告科室负责人和辐射事故应急处理领导小组，辐射事故应急处理领导小组启动应急预案。

(二) 辐射事故应急处理领导小组召集相关人员，按照辐射事故的具体情况，迅速确定事故处理方案。

(三) 迅速安排受照人员到职业病防治机构接受医学检查、救治和医学观察，同时对危险源采取应急安全处理措施。对可能受放射损伤的人员，立即采取暂时隔离和根据需要实施其他医学救治应急救援措施。

(四) 在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门报告。

(五) 发生放射事故的科室及个人，必须积极配合生态环境部门、卫生行政部门、公安机关对放射事故的调查、处置、监测等，做好善后处理工作。

12.4.4 应急处置措施

(一) 事故发生后，当事人应立即终止放射诊疗操作，关闭操作电源；

(二) 封锁现场，疏散患者及现场的工作人员，切断一切可能的污染源；

(三) 报告科室负责人，由其按照事件报告流程依次报告上级相关部门和人员；

(四) 实行现场警戒，划定紧急隔离区，以控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

同时保护现场，保留导致事故的材料、设备和工具，必要时做好录音和录像；

(五) 事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量，并迅速对其进行检查、救治及医学观察；

(六) 辐射事故应急处理领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处置方案；

(七) 事故处理后，医院组织有关人员讨论，分析事故发生原因，总结经验教训，采取适当措施，防止类似事故重复发生。

12.4.5 预案管理

多方式开展辐射事故应急培训学习，包括在本院开展辐射环境保护知识的宣传和教育，普及辐射安全基础知识和预防常识、参加院外辐射安全知识的培训和辐射事故/事件应急措施的培训学习等。

按照应急预案的要求，每年定期组织不同级别的辐射事故应急演练，提高防范和

处置突发辐射事故的技能。应急演练前编制演习计划由设备科编写，含演练模拟的事故、事件情景、演练参与人等。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12.5.1。

表 12.5.1 辐射环境保护“三同时”验收清单

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
核医学科辐射防护措施	核医学科区域和衰变池间四周墙体和门、窗的防护，详见表 10.2.1。	1、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 2、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）
	配置 0.5mmPb 的铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品（均为 0.5mmPb）4 套，放射性污染防护服 1 套，同时配备 1 台便携式辐射监测仪、8 枚个人剂量计和 2 台 α/β 表面沾污仪； 在 SPECT 区域配备 1 个防护提盒（3mmPb）、2 个注射器防护套（2mmPb）和 3 个移动铅屏风（2mmPb）； 在甲癌治疗区域配备 4 个移动铅屏风（20mmPb）； 在 SPECT/CT 机房、分装注射室和甲癌治疗区域内分别配备 1 台固定式辐射监测仪；配置一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子等应急及去污用品。	
	SPECT/CT 机房的防护门设有自动闭门装置，上方设有工作状态指示灯；机房设有门—灯联动装置、门—机联动装置；在 SPECT/CT 机房和控制室内安装紧急停机按钮，分别均设置在控制室的操作台上（1 个）、治疗床上（1 个）和墙面（1 个），并有明显的标志。	
	核医学科在控制区出入口设置明显的电离辐射警告标志；在本项目核医学科的分装注射室、注射处、注射后休息室、运动/急救室、SPECT/CT 机房、留观室、服药处、各甲癌病房以及 SPECT 区域和甲癌治疗区域的患者通道中将设视频监控设备，并将在上述功能室与对应监控操作间之间设对讲装置；在核医学科内设置醒目标识路线及禁止路线，候诊区设置放射防护注意事项告知栏；盛放射物质的容器表面设置电离辐射警告标识。	
	核医学工作场所的室内表面及装备结构满足标准要求。	
放射性固体废物	SPECT 区域配置 7 个 10L 的衰变桶（5mmPb）、4 个 100L 的衰变桶（5mmPb）和 3 个 50L 的衰变桶（5mmPb）；甲癌治疗区域配置 7 个 10L 的衰变桶（20mmPb）、5 个 325L 的衰变桶（20mmPb）和 3 个 100L 的衰变桶（20mmPb），衰变桶必须有电离辐射警示标志；含 ^{99m}Tc 的放射性废物在衰变桶中存放至少 30 天以上，含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性废物在衰变桶中存放至少 10 个半衰期以上，含 ^{131}I 的放射性废物在衰变桶中存放至少 180 天以	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 3、《核医学放射防护要

	<p>上，经监测满足解控要求后作为一般医疗垃圾处理；当日剩余的放射性药物暂存于分装注射室的 2 个手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收；SPECT 区域、分装注射室和 1#手套箱等通风系统的活性炭送至分装注射室废物间的衰变桶内经至少 505.3 天（⁸⁹Sr 药物 10 个半衰期）的贮存衰变，甲癌治疗区域和 2#手套箱等通风系统的活性炭送至甲癌治疗区域污被/固废间的衰变桶内经至少 180 天的贮存衰变，监测符合清洁解控水平后作为一般医疗垃圾处理；院方定期委托有资质的单位清掏 2 套槽式放射性废液衰变池的污泥，清掏前保证 1#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 30 天的贮存衰变，2#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 180 天的贮存衰变，达到解控水平后作为一般医疗废物处理。</p>	<p>求》（GBZ 120-2020） 4、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）</p>
放射性废水	<p>设置 2 套槽式放射性废液衰变池，为埋地式，均位于医技及门诊楼（二期）东南侧衰变池间内。1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 3 个衰变池，每级衰变池容积约为***m³；2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 4 个衰变池，每级衰变池容积约为***m³。项目衰变池间上方为绿化带和院内道路，衰变池间北墙采用***，南墙采用***，西墙采用***，顶板采用***。衰变池间内设导流墙和集水沟，各污泥池和衰变池设置耐酸碱腐蚀、内壁光滑、防止渗漏防水等处理措施，并在各污泥池池底均设有防止和去除污泥硬化淤积的措施。衰变池间上方设有电离辐射警告标志，衰变池间的北侧和西侧设置设置防撞栏，放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管，部分暴露的污水管道采用外包 5mmPb 铅板进行防护。放射性废水经 2 套衰变池衰变且满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），监测达标后，排至医院下水管网，并经医院污水处理站再行处理，处理满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）后，流入市政污水管网。放射性废水的监测记录应留存。</p>	
放射性废气	<p>工作场所设置 5 套通风系统，气流流向遵循自监督区向控制区的方向设计，均设置防回风阀，其中各手套箱内的通风速率均不小于 0.5m/s，排风均经过楼顶的活性炭过滤装置处理后，分别通过 5 个高出屋脊的排放口排放。</p>	
2 间 DSA 机房辐射防护措施	<p>本项目 2 间 DSA 机房四周墙体和门、窗的防护，详见表 10.2.3。</p> <p>2 间 DSA 机房门外均设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志，工作状态指示灯和与防护门联动，医护人员通道防护门（平开门）设置自动闭门装置，病人通道防护门（电动推拉门）设置曝光时关闭机房门的管理措施和防夹装置。</p> <p>机房、控制室内均设置 1 个急停开关按钮，机房设置对讲装置、观察窗及视频监控系统，</p> <p>每间介入手术室均配备 1 台便携式辐射监测仪、1 台个人剂量报警仪和 20 枚个人剂量计，每间介入手术室的工作人员均配备铅围裙、铅颈套、铅帽、铅防护眼镜（均为 0.5mmPb）5 套，3 副介入防护手套（0.025mmPb）和 1 个移动铅防护屏风（2mmPb），为每间介入手术室的受检者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb），为陪检者配备 1 件铅衣（0.5mmPb）。</p> <p>机房内设置了动力通风系统进行送排风，电缆线管采用“U”型方从地下穿过墙体。</p>	<p>《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）</p>

废气	SPECT/CT 机房和 DSA 机房产生的臭氧 O ₃ 和氮氧化物 NO _x 通过通风系统引至医技及门急诊楼（二期）楼顶排出。	
管理制度	核医学科区域、衰变池间和 2 间 DSA 机房四周墙体和门、窗外 30cm 处，以及项目敏感点的剂量率满足相关标准要求。	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
	辐射工作人员佩带个人剂量计并建立个人剂量档案。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）
	制定相应的规章制度和应急预案，规章制度应张贴在相关操作室。	
	建立完善的射线装置和核素台帐。	
	医院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的辐射安全培训及考核，考核通过后方可上岗。	
所有辐射工作人员间隔不超过两年应参加职业健康体检。		
环境监测	委托有资质的单位每年对本项目核医学科各功能室屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙处、操作台等，以及核医学科、衰变池间和 2 间 DSA 机房四周及上下方活动场所、进出通道外以及外环境进行 γ 辐射剂量率的监测；对操作台、设备表面、墙壁和地面、注射后休息室、留观室、衰变桶和包装袋表面，以及工作人员的手、皮肤暴露部分和工作服、手套、鞋、帽等进行 β 表面污染监测。	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
	2 套槽式放射性废液衰变池排出口总 α、总 β 监测。	《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

福建省立医院南院位于福建省福州市仓山区金榕南路 516 号，医技及门急诊楼（二期）位于院区中部。为提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，福建省立医院拟在南院院区医技及门急诊楼（二期）新建核医学科和数字平板减影血管造影机（DSA）项目。本项目主要是在医技及门急诊楼（二期）1 楼和 3 楼的主体建筑上，进行内部建设、装修以及设备安装，设置防护门、防护窗、动力通风装置和放射性废液收集管道等防护措施，并在医技及门急诊楼（二期）东南侧绿化带和院内道路下方衰变池间内设置 2 套槽式放射性废液衰变池。项目新增 1 台 SPECT/CT，并使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 ^{131}I 用于放射诊疗工作，新增 2 台 DSA 用于放射诊断和介入治疗。本项目辐射工作的种类和范围为乙级非密封放射性物质工作场所，配套使用 III 类射线装置；使用 II 类射线装置。

13.1.2 选址合理性分析

本项目核医学科设置于医技及门急诊楼（二期）1 楼东侧，所涉及的 2 套槽式放射性废液衰变池设置于医技及门急诊楼（二期）东南侧绿化带和院内道路下方的衰变池间内。核医学科工作场所的 5 个排风口均高出医技及门急诊楼（二期）的屋脊，位于大楼东侧，已尽可能远离周边高层建筑。项目核医学科位置独立，充分考虑周围场所的安全，不毗邻产科、儿科、食堂等部门，与周边非放射性工作场所不交叉，尽可能做到相对独立布置和集中设置，有单独出、入口，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的选址要求。

项目 2 间 DSA 机房（即手术室 OR10 和手术室 OR16）分别设置于医技及门急诊楼（二期）北侧和东北侧，有单独的固定机房，工作场所相对独立，与周边非放射性工作场所隔开，周边人员停留时间较短，且 DSA 机房大小、屏蔽物质厚度等均符合相关标准要求。项目 DSA 机房选址充分考虑了邻室（含楼上楼下）和周围场所的人员防护与安全，避开了人群聚集点。

本项目辐射工作场所四周人员停留较少，项目 50m 评价范围均位于医院内，经本

项目防护设施、距离以及楼内隔室墙体衰减后，对周围环境影响不大。综上所述，本项目辐射工作场所选址考虑了周边及上下楼情况，项目作业与其他科室不交叉，避开人群聚集区，按照设计的防护措施，运行时对周围环境辐射影响小。因此，本项目选址是合理的。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射安全设施

① 核医学科工作场所

由核医学科工作场所的辐射防护措施分析可知，本项目 SPECT/CT 机房屏蔽墙体厚度、最小有效使用面积、最小单边长度等防护设施的技术要求总体上满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。

本项目采取的屏蔽墙体、防护门和窗等有效屏蔽设施能满足辐射防护要求。场所布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。同时本项目按《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ 1188-2021）以及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）相关要求对屏蔽防护进行了设计，并设置相应放射防护措施；设有槽式放射性废液衰变池、衰变桶、通风系统及活性炭过滤装置等三废处置设施；配备相应的个人防护用品以及应急去污用品。本项目工作场所防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等标准的要求。

② DSA 机房

本项目 2 间 DSA 机房的屏蔽墙体厚度、最小有效使用面积、最小单边长度等防护设施的技术要求总体上满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。项目机房布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。同时本项目按《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求对屏蔽防护进行了设计，设置动力排风装置进行通风换气，并配备相应的个人防护用品。

(2) 辐射安全管理

福建省立医院已成立放射防护领导小组负责辐射安全与环境保护管理工作，已制

定了较为完善的辐射安全管理制度和放射工作流程。本项目辐射工作人员均为新增人员，新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。在认真落实以上辐射安全管理制度的情况下，本项目辐射安全管理能满足辐射安全管理要求。

13.1.4 环境影响评价结论

(1) 辐射工作人员及公众年附加剂量

本项目核医学科操作核素 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 时，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在***~*** $\mu\text{Sv/h}$ 之间，均低于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；分装注射室的 2 个手套箱外表面 30cm 处人员操作位的剂量率分别为***和*** $\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面 30cm 处的剂量率为***~*** $\mu\text{Sv/h}$ 之间，2 个手套箱外表面 5cm 处的剂量率分别为***和*** $\mu\text{Sv/h}$ ，各关注点剂量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 和《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 中的相关要求。

根据类比分析和理论预测可知，本项目 DSA 在透视模式下，2 间机房防护门/观察窗外的辐射剂量率最大，分别为***和*** $\mu\text{Sv/h}$ ；在摄影模式下，2 间机房防护门/观察窗外的辐射剂量率最大，分别为***和*** $\mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求，即介入手术室屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

本次福建省立医院南院核技术利用项目运营后，本项目辐射工作人员年有效剂量为***~***mSv；公众人员年有效剂量为***~***mSv，均低于《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 以及本报告提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。此外，本项目运营后，对院内辐射工作人员的年有效剂量叠加影响也能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 以及本报告提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

(2) 事故影响

在严格落实本报告提出的各项防护措施及《福建省立医院辐射事故应急预案》的基础上，项目运行过程中可能发生的辐射事故造成的环境影响可控制在可接受水平内。

13.1.5 “三废” 处置措施

(1) 施工期

项目施工期环境影响主要是施工噪声、扬尘、废水、固体废物等，拟采取以下措施：

①合理安排施工时间，采取消声降噪等措施，降低施工噪声影响。

②通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，降低施工扬尘影响。

③施工废水主要为混凝土养护水，产生量小，一般通过蒸发，不外排；施工人员生活污水主要是依托现有设施（卫生间），通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放。

④建筑装饰垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回收利用的施工废物料予以回收利用，其他部分分类收集后交由环卫部门清运；施工人员生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱后交由环卫部门清运。

(2) 运营期

①放射性废水

设置 2 套槽式放射性废液衰变池，为埋地式，均位于医技及门急诊楼（二期）东南侧衰变池间内。1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 3 个衰变池，2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个污泥池和 4 个衰变池。项目衰变池间上方为绿化带和院内道路，衰变池间北墙采用***，南墙采用***，西墙采用***，顶板采用***。衰变池间内设导流墙和集水沟，各污泥池和衰变池设置耐酸碱腐蚀、内壁光滑、防止渗漏防水等处理措施，并在各污泥池池底均设有防止和去除污泥硬化淤积的措施。衰变池间上方设有电离辐射警告标志，衰变池间的北侧和西侧设置设置防撞栏，放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管，部分暴露的污水管道采用外包 5mmPb 铅板进行防护。放射性废水在衰变池中衰变，监测达到清洁解控水平后，排入医院污水处理设施，对环境的影响较小。

②放射性废气

本项目工作场所设置 5 套通风系统，气流流向遵循自监督区向控制区的方向设计，均设置防回风阀，其中各手套箱内的通风速率均不小于 0.5m/s，各场所产生的放射性废气由支管道汇入主管道后，均经过楼顶的活性炭过滤装置处理后，由 5 个高出医技及门急诊楼（二期）屋脊的排放口排放，对环境的影响可接受。

③放射性固体废物

本项目使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性杯子、餐具等被非密封放射性物质污染的物品，暂存于各场所衰变桶中，SPECT 区域和分装注射室的放射性固体废物在当日工作结束后收集至分装注射室废物间的衰变桶中贮存衰变，甲癌治疗区域放射性固体废物在每周患者出院后收集至甲癌治疗区域污被/固废间的衰变桶中贮存衰变，其中含 ^{99m}Tc 的放射性废物在衰变桶中存放至少 30 天以上，含 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 的放射性废物在衰变桶中存放至少 10 个半衰期以上，含 ^{131}I 的放射性废物在衰变桶中存放至少 180 天以上，经监测满足解控要求后作为一般医疗垃圾处理；剩余的放射性药物暂存于分装注射室的 2 个手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收；SPECT 区域、分装注射室和 1#手套箱等通风系统的活性炭送至分装注射室废物间的衰变桶内经至少 505.3 天（ ^{89}Sr 药物 10 个半衰期）的贮存衰变，甲癌治疗区域和 2#手套箱等通风系统的活性炭送至甲癌治疗区域污被/固废间的衰变桶内经至少 180 天的贮存衰变，监测符合清洁解控水平后作为一般医疗垃圾处理；院方定期委托有资质的单位清掏 2 套槽式放射性废液衰变池的污泥，清掏前保证 1#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 30 天的贮存衰变，2#槽式放射性废液衰变池的污泥在污泥池中经至少 180 天的贮存衰变，达到解控水平后作为一般医疗废物处理。本项目放射性固体废物在采取相应的储存措施后，对环境的影响满足相关要求。

④非放射性废气

本项目 SPECT/CT 和 DSA 机房内均设有排风管道，少量的臭氧和氮氧化物通过机房的通风系统引至医技及门急诊楼（二期）楼顶排出，弥散在大气环境中，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

13.1.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 29 号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“5、……数字化医学影像设备……”以及“三十七、卫生健康”中的“5、医疗卫生服务设施建设”项目，因此福建省立医院南院核技术利用项目符合国家产业政策。

13.1.7 总结论

福建省立医院南院核技术利用项目旨在改善患者就医环境，建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程严格按照设计方案进行施工，建

筑施工质量能达到要求，并且落实本次评价对该项目提出的各项辐射防护要求及措施，则本项目正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目是可行的。

13.2 建议和要求

(1) 本环评获批后，医院应及时在全国核技术利用辐射安全申报系统中更新。

(2) 在设备安装的同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环境保护设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时验收、同时投产”。

(3) 根据《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目建成并试运行后，按照规定程序开展竣工环境保护验收。

(4) 医院操作人员的流动性，工作性质的交叉性使管理工作难度加大，因此应加强个人剂量及职业健康体检的管理，完善辐射工作人员职业健康监护档案。

(5) 新进的辐射工作人员应及时在参加国家核技术利用辐射安全与防护培训，经考核合格后方可上岗；同时要做好已取得合格证书人员的复训工作。

(6) 医院应每年安排 1~2 次应急预案模拟演练，强化避险救治常识，以培训、演练相结合，提高合作、协同的应急能力。

(7) 不断加强医院的辐射安全管理工作，持续完善辐射安全管理制度，落实辐射安全管理责任。

表 14 审批

<p>下一级环保部门预审意见</p> <p style="text-align: right;">盖章 年 月 日</p> <p style="text-align: center;">经办人</p>
<p>审批意见</p> <p style="text-align: right;">盖章 年 月 日</p> <p style="text-align: center;">经办人</p>