

核技术利用建设项目

东阳市人民医院核技术利用建设项目 环境影响报告表 (公示稿)

东阳市人民医院

2022 年 11 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

东阳市人民医院核技术利用建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：东阳市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省东阳市吴宁西路 60 号

邮政编码：322100

联系人：吴**

电子邮箱：

联系电话：0579-8685****

目 录

表 1 项目基本概况	1
表 2 放射源	9
表 3 非密封放射性物质	9
表 4 射线装置	9
表 5 废弃物	11
表 6 评价依据	12
表 7 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	27
表 9 项目工程分析与源项	33
表 10 辐射安全与防护	47
表 11 环境影响分析	69
表 12 辐射安全管理	89
表 13 结论与建议	96
表 14 审批	100

表 1 项目基本情况

建设项目名称		东阳市人民医院核技术利用建设项目			
建设单位		东阳市人民医院			
法人代表	陈*	联系人	吴**	联系电话	0579-8685****
注册地址		浙江省东阳市吴宁西路 60 号			
项目建设地点		浙江省东阳市吴宁西路 60 号			
立项审批部门		东阳市发展和改革局	批准文号	东发改审批〔2021〕1 号	
建设项目总投资（万元）	22000	项目环保投资（万元）	1500	投资比例（环保投资/总投资）	6.8%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） 650m ²
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

东阳市人民医院创建于 1939 年，是温州医科大学非直管附属医院，三级乙等综合性医院，国际紧急救援网络医院，上海市第一人民医院、浙江大学医学院附属第一医院、第二医院、邵逸夫医院、浙江省肿瘤医院、上海肿瘤医院、上海胸科医院的协作医院，台湾台中荣民总医院和台湾中国医药大学的合作医院，浙江中医药大学、宜春学院医学院等 6 所医学院校的教学医院。设院本部、巍山院区和义乌天祥医疗东方医院三个工作区，医院本部占地 156 亩。

医院建成了以心脏外科、心血管内科、消化内科、呼吸内科、儿内科、新生儿

科、感染科、肿瘤科、普外科、肝胆外科、胸外科、骨科、妇产科、泌尿外科等市级重点学科和院重点专科为龙头的临床学科体系。

随着人民群众日益增长的医疗卫生需要，医院现有医疗业务用房和医疗设施已不能满足要求，严重制约了医院的发展。经东阳市发展和改革局同意（文件号：东发改审批（2021）1号），新建一幢手术楼，项目总用地面积 5093 平方米，建筑占地面积 4656 平方米，总建筑面积 31243 平方米，其中地上六层，地下一层，地上建筑面积 26587 平方米，地下建筑面积 4656 平方米，建筑高度 23.4 米。建成后将成为包含洗涤中心、中心供应室、放射中心、手术中心、内镜中心、重症监护中心、病理中心、中心血库、屋面直升飞机停机坪等多功能一体的现代化手术楼。新建手术楼设置床位小于 20 张，建设单位已在建设项目环境影响登记表备案系统（浙江省）进行备案，备案号：202033078300000318。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

随着东阳市经济社会的迅速发展，为满足人民群众对高质量医疗卫生服务的需求，建设单位拟在手术楼一层新建核医学科，并配备 1 台 PET-CT 和 1 台 SPECT-CT，涉及 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 放射性同位素的使用，用于开展核素显像检查， ^{131}I 用于甲状腺功能测定和甲亢治疗， ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{153}Sm 用于骨转移癌治疗， ^{32}P 用于血液疾病治疗，日等效最大操作量为 $2.13 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所；拟在手术楼一层介入中心新建六间 DSA 机房，并配备 6 台 DSA；拟在手术楼三层中心手术 B 区和 C 区分别新建两间 DSA 机房，并配备 2 台 DSA。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，本项目核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所；本项目拟新增的 DSA 属 II 类射线装置，PET 和 SPECT 配套使用的 CT 属 III 类射线装置。根据建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）（生态环境部 部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所”，应编制建设项目环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，东阳市人民医院委托杭州旭辐检测技术有限公司对本项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘的基础上，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016），编制该项目的的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设规模

经与建设单位核实，本次建设内容为：

1) 拟于手术楼一层设置核医学科，涉及 1 台 SPECT-CT，使用 ^{99m}Tc 、 ^{111}In 核素用于显像诊断；涉及 1 台 PET-CT，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 核素用于显像诊断；使用 ^{131}I 核素用于甲亢治疗和甲状腺功能测定；使用 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{153}Sm 用于骨转移癌治疗；使用 ^{32}P 用于血液疾病治疗；

2) 拟于手术楼一层设置 DSA 介入中心，涉及 6 台 DSA；

3) 拟于手术楼三层设置中心手术区，涉及 2 台 DSA。

本项目拟新增非密封放射性物质及射线装置情况见表 1-1、1-2。

表 1-1 本项目拟新增非密封放射性物质一览表

序号	建设内容	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	位置
1	1 台 PET-CT	¹⁸ F	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	2.78×10 ¹²	PET-CT 显像	手术楼 一层核 医学科
2		⁶⁸ Ga	1.11×10 ⁹	1.11×10 ⁷	2.78×10 ¹¹		
3	1 台 SPECT-CT	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	2.78×10 ⁷	6.94×10 ¹²	SPECT-CT 显像	
4		¹¹¹ In	1.11×10 ⁹	1.11×10 ⁸	2.78×10 ¹¹		
5	¹³¹ I		3.70×10 ⁶	3.7×10 ⁵	9.25×10 ⁸	甲状腺功能测定	
6	¹³¹ I		3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	甲亢治疗	
7	⁸⁹ Sr		4.44×10 ⁸	4.44×10 ⁷	1.11×10 ¹¹	骨转移癌治疗	
8	¹⁸⁸ Re		6.66×10 ⁹	6.66×10 ⁸	1.67×10 ¹²		
9	¹⁵³ Sm		1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁹	2.78×10 ¹²		
10	³² P		1.11×10 ⁹	1.11×10 ⁸	2.78×10 ¹¹	血液疾病治疗	

备注：本项目 ^{131}I 核素不涉及甲亢治疗，因此无甲亢病房。

表 1-2 本项目拟新增射线装置一览表

序号	射线装置名称	类别	数量	型号	参数	用途	位置
1	DSA	II	6	待定	最大管电压：150 最大管电流：1250	介入治疗	手术楼一层 DSA 介入中心
	DSA	II	1	待定	最大管电压：150 最大管电流：1250	介入治疗	手术楼三层中心 手术 B 区 DSA 机房
	DSA	II	1	待定	最大管电压：150 最大管电流：1250	介入治疗	手术楼三层中心 手术 C 区 DSA 机房
2	PET-CT	III	1	待定	最大管电压：150 最大管电流：1000	显像诊断	手术楼一层核医 学科

3	SPECT-CT	III	1	待定	最大管电压：150 最大管电流：1000	显像诊断	
---	----------	-----	---	----	-------------------------	------	--

另外，本项目 PET-CT 拟配置校准源（为 V 类源），由于设备厂家及活度待定，校准源枚数及活度暂未确定，因此本次环评不对其进行评价，后续定好后在建设项
目环境影响登记表备案系统（浙江省）进行备案。

1.2 项目周边保护目标及场址选址

1.2.1 医院地理位置

医院位于浙江省东阳市吴宁西路 60 号，西临吴宁西路，南临西门街，东侧、北
侧为居民区，其具体地理位置见附图 1。

1.2.2 辐射工作场所位置及周边保护目标

本次评价的项目均位于手术楼，手术楼北侧紧邻核医学科下方地上部分建设单
位计划设为设备间进行物理隔断，距手术楼北侧 37m 为篮球场、排球场，距手术楼
北侧最近建筑距离为 100m，手术楼东侧为室外和居民，距手术楼最近的东南角 15m
处有 3 幢民房（医院计划征用），南侧为东大楼，西侧为西大楼，楼下为停车场。

核医学科位于手术楼一层东北侧，其东侧和北侧均为室外，南侧为介入中心，
西侧为内部走廊，上层为中心手术 A 区，下层为去污区。衰变池位于手术楼东北角
地下（紧邻核医学科）。

介入中心位于手术楼一层东南侧，DSA1 机房北侧为污物存放间、污洗间、设备
间，东侧为更衣室、男卫，南侧为控制廊、资料室，西侧为准备复苏间，正上方为
手术中心，正下方为停车场。DSA2、DSA3、DSA4 由北向南依次排列，该区北侧为设
备间、洁净品间，东侧为控制廊，南侧、西侧均为患者走廊，正上方为手术中心，
正下方为停车场。DSA5、DSA6 由西向东依次排列，该区北侧、西侧均为控制廊，东
侧为医护公共走廊，南侧为患者走廊，正上方为手术中心，正下方为停车场。

中心手术 B 区位于手术楼三层，北侧为污物通道，东侧为设备间、控制室，南侧
为洁净通道，西侧为 B10 号手术室，正上方为医生多功能休息室，正下方为中心手
术 A 区。

中心手术 C 区位于手术楼三层，北侧为库房、前室，东侧为 C2 手术室，南侧为污
物通道，西侧为设备间、控制室，正上方为手术机房，正下方为复苏间。

因此，本项目实体边界外 50m 评价范围除东南角有居民外，主要为医院内部建
筑和道路，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校等其他环境敏感

区，医院周边环境状况见附图 2，医院总平图见附图 3，手术楼一层平面布置见附图 4，手术楼地下一层平面布置见附图 5，手术楼二层平面布置见附图 6，手术楼三层平面布置见附图 7，手术楼四层平面布置见附图 8。

1.2.3 项目选址合理性分析

本次评价的项目均位于医院东侧新建的手术楼（衰变池位于手术楼东北角地下，紧邻核医学科），属于医院征用地块，周围为医院内部。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 区域内除东南角有居民外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校等其他环境敏感区，本项目建成后运行过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，故其选址是合理可行的。

1.3 原有核技术利用项目许可情况

医院原有辐射设备已取得《辐射安全许可证》（浙环辐证[G0002]），种类和范围：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。有效期至 2027 年 09 月 21 日（见附件 4）。

医院原有辐射设备环评履行情况及验收情况见表 1-1、表 1-2、表 1-3。

表 1-1 已运行放射源

序号	名称	类别	数量	活度 (Bq)	工作场所	环评情况	验收情况
1	^{192}Ir	Ⅲ	1	$3.7\text{E}+11$	后装治疗室	浙环辐 [2006]103 号	浙环辐验 [2008]24 号
2	^{68}Ge	Ⅴ	1	$9.25\text{E}+7$	PET-CT 机房	备案号：202133078300000028	
3	^{68}Ge	Ⅴ	2	$4.6\text{E}+7$	PET-CT 机房	备案号：202133078300000028	

表 1-2 已运行非密封放射性物质工作场所

序号	名称	场所等级	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所	环评情况	验收情况
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	乙级	$7.4\text{E}+7$	$8.9\text{E}+11$	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐 [2006]103 号	浙环辐验 [2014]20 号
2	^{89}Sr	乙级	$3.0\text{E}+7$	$7.4\text{E}+11$	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐 [2006]103 号	2019 年自主验收
3	^{131}I	乙级	$1.48\text{E}+7$	$3.7\text{E}+11$	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐 [2006]103 号	2019 年自主验收
4	^{125}I	乙级	$5.1\text{E}+4$	$3.0\text{E}+8$	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐 [2006]103 号	2019 年自主验收
5	^{125}I （粒子源）	丙级	$2.0\text{E}+7$	$3.9\text{E}+10$	北一号楼地下室肿瘤中心	金环建东 [2016]1 号	2019 年自主验收
6	^{18}F	丙级	$5.18\text{E}+6$	$4.63\text{E}+12$	北一号楼地下一层东南角 PET 中心	未建设	

表 1-3 已运行射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况
1	15MV 直线加速器	II	1	Primus plus	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	浙环辐验[2008]24 号
2	10MV 直线加速器	II	1	Synergy	北一号楼地下室肿瘤中心	金环建东[2016]1 号	2019 年自主验收
3	模拟定位机	III	1	LX-40A	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	浙环辐验[2008]24 号
4	SPECT-CT	III	1	Precedence 6	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	浙环辐验[2014]20 号
5	DSA	II	1	Allura Xper FD20	医疗综合楼二楼	金环建东[2016]1 号	2019 年自主验收
6	DSA	II	1	Allura Xper FD20	医疗综合楼二楼	金环建东[2016]1 号	2019 年自主验收
7	数字胃肠机	III	1	TU-51	医疗综合楼二楼	金环建东[2016]1 号	2016 年 3 月 24 日取得东阳市环境保护局验收意见
8	数字胃肠机	III	1	TU-51	医疗综合楼三楼	东环[2015]130 号	
9	DR	III	1	DRX-NOVA	医疗综合楼五楼	东环[2015]130 号	
10	DR	III	1	Ysio	医疗综合楼一楼	东环[2015]130 号	
11	DR	III	1	Digital Diagnost	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	
12	DR	III	1	Axion Aristos	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	
13	CT	III	1	Somatom Volume Access	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	
14	CT	III	1	Brilliance CT64Slice	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	
15	CT	III	1	Aquilion TSX-101A	医疗综合楼一楼	东环[2015]130 号	
16	CT	III	1	Definition AS Open	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	
17	乳腺机	III	1	MAMMOMAT Inspiration	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	

续表 1-3 已运行射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况
18	牙片机	III	1	X-28-FIR	医疗综合楼五楼	东环 [2015]130 号	2016 年 3 月 24 日取得东阳市环境保护局验收意见
19	全景机	III	1	X-550-AEAFCP	医疗综合楼二楼	东环 [2015]130 号	
20	口腔 CT 机	III	1	Kavo 3D exam i	医疗综合楼五楼	东环 [2015]130 号	
21	全身密度仪	III	1	Prodigy	医疗综合楼四楼	东环 [2015]130 号	
22	碎石机	III	1	HK. ESWL-VI	医疗综合楼三楼	东环 [2015]130 号	
23	移动式 X 光机	III	1	IME-1001	移动使用	东环 [2015]130 号	
24	移动式 X 光机	III	1	IME-1001	医疗综合楼移动使用	东环 [2015]130 号	
25	移动式 X 光机	III	1	Sirius 125MP	医疗综合楼移动使用	东环 [2015]130 号	
26	移动式 X 光机	III	1	Mobieye	医疗综合楼移动使用	东环 [2015]130 号	
27	C 臂机	III	1	BV-Endura	医疗综合楼东大楼二楼	东环 [2015]130 号	
28	C 臂机	III	1	BV-Libra	医疗综合楼东大楼二楼	东环 [2015]130 号	
29	C 臂机	III	1	BV-25 Gold	医疗综合楼东大楼二楼	东环 [2015]130 号	
30	CT	III	1	Spirit	巍山院区放射科	东环 [2015]130 号	
31	DR	III	1	CXDI-50G	巍山院区放射科	东环 [2015]130 号	
32	C 臂机	III	1	Brivo OEC 850	巍山院区手术室	东环 [2015]130 号	
33	床边机	III	1	POLYMOBIL Plus	巍山院区放射科	东环 [2015]130 号	
34	床边机	III	1	POLYMOBIL-II	巍山院区放射科	东环 [2015]130 号	
35	透视机	III	1	F52-8C	巍山院区放射科	东环 [2015]130 号	

1.4 原有核技术利用项目辐射安全管理情况

1) 辐射安全防护管理机构

医院已成立了辐射安全防护领导与管理小组，明确了各成员职责。

2) 辐射工作制度

医院已制定《辐射安全防护和管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《监测方案》、《质量检测方案》、《放射事故报告制度及处理预案》、《放射性废物处理方案》、《放射事故报告制度处理预案》等规章制度。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

3) 个人剂量检定情况

辐射工作期间，辐射工作人员佩戴了个人剂量计，每三个月送浙江省疾病预防控制中心检测一次，并建立了个人剂量档案，终生存档保存。

4) 职业健康体检情况

医院已组织现有的辐射工作人员在浙江大学医学附属第一医院参加职业健康体检，不超过两年检查一次，并建立了职业健康监护档案。

5) 职业资格培训情况

医院已组织现有辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，并取得合格证书，未参加或已超过四年的医院可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名参加考试。

6) 年度评估

医院于 2021 年 12 月编制了辐射安全与防护状况评估报告，对现有的放射性同位素与射线装置台帐、辐射环境管理相关法律法规执行情况、辐射安全管理制度及措施的建立和落实情况、辐射安全和防护设施的配备、运行与维护状况、辐射工作人员管理情况以及事故和应急情况进行了年度总结和评估，并上传全国核技术利用网。

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			操作频次	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	操作场所	贮存方式与地点
				单人最大用量 (Bq)	实际日最大操作量 (Bq)	数量 (人/日)							
1	¹⁸ F	液体	使用	3.70×10 ⁸ (10mCi)	1.11×10 ¹⁰	30	每周 5 次	1.11×10 ⁷	2.78×10 ¹²	PET-CT 显像	很简单的操作	手术楼一层核医学科	由医院根据实际使用量订购，派专人运送，运输来的药物连同包装放置于核医学科储源室。
2	⁶⁸ Ga	液体	使用	3.70×10 ⁸ (10mCi)	1.11×10 ⁹	3	每周 5 次	1.11×10 ⁷	2.78×10 ¹¹	PET-CT 显像	简单操作		
3	^{99m} Tc	液体	使用	9.25×10 ⁸ (25mCi)	2.78×10 ¹⁰	30	每周 5 次	2.78×10 ⁷	6.94×10 ¹²	SPECT-CT 显像	很简单的操作		
4	¹¹¹ In	液体	使用	3.7×10 ⁸ (10mCi)	1.11×10 ⁹	3	每周 5 次	1.11×10 ⁸	2.78×10 ¹¹	SPECT-CT 显像	简单操作		
5	¹³¹ I	液体	使用	1.85×10 ⁵ (5μCi)	3.7×10 ⁶	20	每周 5 次	3.7×10 ⁵	9.25×10 ⁸	甲状腺功能测定	简单操作		
				3.7×10 ⁸ (10mCi)	3.7×10 ⁸	1	每周 5 次	3.7×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	甲亢治疗	简单操作		
6	⁸⁹ Sr	液体	使用	1.48×10 ⁸ Bq (4mCi)	4.44×10 ⁸	3	每周 5 次	4.44×10 ⁷	1.11×10 ¹¹	骨转移癌治疗	简单操作		
7	¹⁸⁸ Re	液体	使用	2.22×10 ⁹ Bq (60mCi)	6.66×10 ⁹	3	每周 5 次	6.66×10 ⁸	1.67×10 ¹²	骨转移癌治疗	简单操作		
8	¹⁵³ Sm	液体	使用	3.7×10 ⁹ Bq (100mCi)	1.11×10 ¹⁰	3	每周 5 次	1.11×10 ⁹	2.78×10 ¹²	骨转移癌治疗	简单操作		

9	^{32}P	液体	使用	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	1.11×10^9	3	每周 5次	1.11×10^8	2.78×10^{11}	血液疾病 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》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	6	待定	150	1250	介入治疗	手术楼一层介入中心	新增
2	DSA	II类	1	待定	150	1250	介入治疗	手术楼三层中心手术 B 区	新增
3	DSA	II类	1	待定	150	1250	介入治疗	手术楼三层中心手术 C 区	新增
4	PET-CT	III类	1	待定	150	1000	显像诊断	手术楼一层核医学科	新增
5	SPECT-CT	III类	1	待定	150	1000	显像诊断	手术楼一层核医学科	新增

（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

废弃物名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况*	最终去向
放射性固废 (核医学)	固态	^{99m} Tc、 ¹¹¹ In、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ¹³¹ I、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁸⁸ Re、 ¹⁵³ Sm、 ³² P	--	--	--	极低	分类、分期收集于放射性废物桶中，转移至放射性废物暂存间衰变贮存。	满足《核医学辐射防护与安全技术要求》（HJ1188-2021）中放射性废物清洁解控要求，废活性炭解控后按危废委托有资质单位处理。
放射性废液 (核医学)	液体	^{99m} Tc、 ¹¹¹ In、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、	根据实际使用情况	<10ALI _{min}	根据实际使用情况	总β: <10Bq/L	手术楼东北角室外地下显像诊断衰变池暂存	满足《核医学辐射防护与安全技术要求》（HJ1188-2021）：所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 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 倍后可直接解控排放。
		手术楼东北角室外地下 ¹³¹ I 专用衰变池暂存					满足《核医学辐射防护与安全技术要求》（HJ1188-2021）：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β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。	
放射性废气	气态	主要为 ¹³¹ I	--	--	--	—	废气通过专用排风管道由排风井排至手术楼屋顶，风机出风口设活性炭过滤器。	

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/m³; 年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明, 其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日起施行； (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行； (3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行； (4) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日起施行； (5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修正本）》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日施行； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年第二次修订）》，国务院令第 449 号，于 2019 年 3 月 2 日起施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，于 2011 年 5 月 1 日起施行； (9) 浙江省环保厅关于发布《省环境保护行政主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015 年本）》及《设区市环境保护行政主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知，浙环发〔2015〕38 号，2015 年 9 月 23 日； (10) 《浙江省辐射环境管理办法》（2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布，根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》修正）； (11) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布，根据 2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省林地管理办法〉等 9 件规章的决定》第一次修正，根据 2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省建设项目环境保护管理办法〉的决定》第二次修正，根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》第三次修正）； (12) 《国家危险废物名录（2021 年版）》，生态环境部令第 15 号，2021 年 1
------	---

	月 1 日起施行； (13) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生计生委，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日。 (14) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，原国家环保总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日）。 (15) 《浙江省生态环境厅关于发布〈省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2019 年本）〉的通知》（浙环发[2019]22 号）； (16) 《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）； (17) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日施行； (18) 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 10 月 24 日施行； (19) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日施行； (20) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日施行； (21) 《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会，浙环函【2019】248 号）。
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》，HJ 10.1-2016，环境保护部。 (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； (5) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (6) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (7) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； (8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (9) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）；

	(10) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)。
其他	(1) 事业单位法人证书(见附件1)； (2) 东阳市人民医院新手术室大楼工程项目建设项目环境影响登记表(见附件2)； (3) 委托书(见附件3)； (4) 《辐射安全许可证》浙环辐证[G0002](见附件4)； (5) 环境本底检测报告(见附件5)； (6) 辐射安全与环境保护管理小组(见附件6)； (7) 辐射事故应急预案(见附件7)。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，同时结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

因此，本项目的评价范围为拟建的核医学科和各 DSA 机房实体屏蔽墙边界外 50m 范围。

7.2 保护目标

据现场踏勘，本项目核医学科和各 DSA 机房实体屏蔽墙边界外 50m 范围在医院用地红线范围内。评价范围内除东南角有居民外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校等其他环境敏感区。

本项目环境保护目标为评价范围内从事本项目的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员。环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

项目地点	环境保护目标	方位	照射类型	距离（m）	规模（人）	年剂量约束限值 mSv
核医学科、衰变池	核医学工作人员	-	职业照射	-	约 11	5
	非辐射工作人员	西侧、南侧、楼上	公众照射	2~40	约 30	0.1
	评价范围内行人、就诊公众	西侧、南侧、楼上	公众照射	0~40	约 50	
	3 幢一层民房（居住约 10 余人）	东南角	公众照射	15	约 10	
介入中心	辐射工作人员	-	职业照射	-	约 24	5
	非辐射工作人员	西侧、楼上	公众照射	10~40	约 20	0.25
	评价范围内行人、就诊公众	西侧、南侧、楼上	公众照射	0~50	50~100	
	3 幢一层民房（居住约 10 余人）	东南角	公众照射	15	约 10	

中心手术区	辐射工作人员	-	职业照射	-	约 10	5
	非辐射工作人员	四周	公众照射	0~50	50~100	0.25
	评价范围内行人、就诊公众	四周	公众照射	0~50	50~100	

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

4.3.3 防护与安全的最优化

4.3.3.1 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束的潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）。

4.3.2 剂量限制

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。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

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；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

本项目辐射工作人员取国家标准四分之一作为剂量约束值，即：辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，眼晶体年当量剂量不超过 37.5 mSv，手部年当量剂量不超过 125mSv。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 有效剂量，1mSv；

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

本项目公众人员取国家标准的四分之一作为剂量约束值，结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，本项目核医学的公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv；本项目 DSA 机房的公众人员年有效剂量不超过 0.25mSv。

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位控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定位监督区：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。

6.2.3 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应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

第 B2 款 表面污染控制水平

第 B2.1 款，工作场所的表面污染控制水平如表 7-2 所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表 面 类 型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4

工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
1) 该区内的高污染子区除外。		

6.4.3 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C 的规定进行。

应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

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

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

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表7-5 操作方式与放射源状态修正因子

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

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 倍排放流量的普通下水道, 并应对每次排放做好记录:

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

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

(2) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

4.3 辐射工作场所分区

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

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

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

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

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 5 mSv/a ;

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a 。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

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，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 30 cm 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 30 cm 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、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。

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

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

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物

屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7 放射性废物的管理

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/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 mSv/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 Bq/cm^2 、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm^2 。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 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 1 Bq/L 、总 β 不大于 10 Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L 。

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

排放时间、监测结果等信息。

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。

(3) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

4 技术内容

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7-6的规定。直接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 7-6 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
22	总 α (Bq/L)	1	1
23	总 β (Bq/L)	10	10

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理。

6.1 污水取样以及监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口取样监测。

(4) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

本标准适用于X射线影像诊断和介入放射学。

放射治疗和核医学中的X射线成像设备参照本标准执行。

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；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

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7-7的规定。

表 7-7 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^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
双管头或多管头X射线机 ^a （含C形臂）	30	4.5
单管头X射线机 ^b （含C形臂，乳腺CBCT）	20	3.5
透视专用机 ^c 、碎石定位机、口腔CBCT卧位扫描	15	3.0
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔CBCT坐位扫描 / 站位扫描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5
a 双管头或多管头 X 射线设备的所有管球安装在同一间机房内。 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。 c 透视专用机指无诊断床、标称管电流小于 5 mA 的 X 射线设备。 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7-8的规定。

表 7-8 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表7-7的要求。

6.2.4 距X射线设备表面100cm处的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时且X射线设备表面与机房墙体距离不小于100cm时，机房可不作专门屏蔽防护。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv ；

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 机房出入口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7-8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0.25 mmPb；介入防护手套铅当量应不小于0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7-9 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查 类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
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 选配：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。				

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

医院位于浙江省东阳市吴宁西路 60 号，西临吴宁西路，南临西门街，东侧、北侧为居民区，其具体地理位置见附图 1，医院周边环境状况见附图 2，医院总平图见附图 3。

本次评价的项目均位于手术楼，手术楼北侧紧邻核医学科下方地上部分建设单位计划设为设备间进行物理隔断，距手术楼北侧 37m 为篮球场、排球场，距手术楼北侧最近建筑距离为 100m，手术楼东侧为室外和居民，距手术楼最近的东南角 15m 处有 3 幢民房（医院计划征用），南侧为东大楼，西侧为西大楼，楼下为停车场。

核医学科位于手术楼一层东北侧，其东侧和北侧均为室外，南侧为介入中心，西侧为内部走廊，上层为中心手术 A 区，下层为去污区。

介入中心位于手术楼一层东南侧，DSA1 机房北侧为污物存放间、污洗间、设备间，东侧为更衣室、男卫，南侧为控制廊、资料室，西侧为准备复苏间，正上方为手术中心，正下方为停车场。DSA2、DSA3、DSA4 由北向南依次排列，该区北侧为设备间、洁净品间，东侧为控制廊，南侧、西侧均为患者走廊，正上方为手术中心，正下方为停车场。DSA5、DSA6 由西向东依次排列，该区北侧、西侧均为控制廊，东侧为医护公共走廊，南侧为患者走廊，正上方为手术中心，正下方为停车场，手术楼一层平面布置见附图 4。

中心手术 B 区位于手术楼三层，北侧为污物通道，东侧为设备间、控制室，南侧为洁净通道，西侧为 B10 号手术室，正上方为医生多功能休息室，正下方为中心手术 A 区。

中心手术 C 区位于手术楼三层，北侧为库房、前室，东侧为 C2 手术室，南侧为污物通道，西侧为设备间、控制室，正上方为手术机房，正下方为复苏间，手术楼三层平面布置见附图 7。

8.2 环境电离辐射现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2020 年）》，浙江省全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。实时连续空气吸收剂量率、累积剂量和陆地 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞

云江、鳌江、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和千岛湖中射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位及结果

(1) 环境现状评价的对象

本项目辐射工作场所周围。

(2) 监测因子

γ 辐射剂量率、 β 表面污染

(3) 监测点位

监测点位布点详见图 8-1。

(4) 监测方案

1、监测单位：杭州旭辐检测技术有限公司

2、监测日期：2022 年 8 月 19 日

3、监测方式：现场监测

4、监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《表面污染测定第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）

5、监测频次：依据标准予以确定

6、监测工况：辐射环境本底

7、天气环境条件：环境温度：36℃；环境湿度：45%；天气状况：晴。

8、监测设备

表 8-1 γ 辐射剂量当量率仪参数与规范

仪器名称	环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪
仪器型号	JC-5000
生产厂家	上海见驰辐射检测设备有限公司
能量响应	48KeV~3MeV $\leq \pm 30\%$ （相对于 ^{137}Cs ）
量程	1nGy/h~200uGy/h，1nSv/h~200uSv/h
检定证书	上海市计量测试技术研究院 (检定证书编号：2022H21-10-3924231001) 有效期：2022 年 06 月 22 日-2023 年 06 月 21 日

表 8-2 α 、 β 表面污染仪参数

仪器名称	α 、 β 表面污染仪
仪器型号	JC-ZS-68
生产厂家	西安西核彩桥实业科技有限公司
计数范围	1~10 ⁶
探测效率	$\alpha \geq 35\%$ (对 ²³⁹ Pu), $\beta \geq 35\%$
检定证书	上海市计量测试技术研究院 (检定证书编号: 2022H21-20-3981509001 号) 有效期: 2022 年 7 月 7 日-2023 年 7 月 6 日

(5) 质量保证措施

- a 合理布设检测点位, 保证各检测点位布设的科学性和可比性。
- b 检测方法采用国家有关部门颁布的标准, 检测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 检测仪器每年定期经有相应资质的计量部门检定, 并在有效期使用期内。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常, 确保仪器正常后方可进行监测。
- e 检测人员经过省级培训机构的监测技术培训, 并经考核合格, 做到持证上岗。
- f 检测人员按操作规程操作仪器, 测量方法选用质量手册有关本次检测项目的检测实施细则, 并做好记录。
- g 检测单位已通过了浙江省质量技术监督局计量认证。

(6) 监测结果

本项目辐射环境现状监测结果详见表 8-3~8-4。具体监测点位布置情况详见图 8-1~8-3。

表 8-3 拟建场所及周围 γ 辐射剂量率监测结果

检测点位	检测点位描述	辐射剂量率 (nGy/h)	
		平均值	标准差
▲1	注射前候诊室	90	4.78
▲2	注射室	83	3.94
▲3	废物暂存间	90	3.88
▲4	源库	82	4.12
▲5	服碘室	86	3.77
▲6	甲测室	83	3.89
▲7	心肌负荷室/抢救室	72	3.09
▲8	PET 候诊室	78	4.35

▲9	SPECT 候诊室	83	2.67
▲10	PET-CT 机房	87	4.41
▲11	控制室	86	3.92
▲12	SPECT-CT 机房	82	3.90
▲13	患者走廊	84	3.55
▲14	留观区	91	3.73
▲15	介入中心 DSA1 机房	85	3.69
▲16	介入中心 DSA2 机房	86	4.64
▲17	介入中心 DSA3 机房	84	3.66
▲18	介入中心 DSA4 机房	86	3.91
▲19	介入中心 DSA5 机房	84	3.68
▲20	介入中心 DSA6 机房	83	4.38
▲21	介入中心控制廊	84	3.79
▲22	介入中心复苏室	92	3.55
▲23	介入中心 DSA3 机房北侧	84	3.48
▲24	介入中心 DSA3 机房西侧	83	3.14
▲25	介入中心 DSA5 机房南侧	87	4.17
▲26	介入中心 DSA6 机房东侧	85	4.21
▲27	中心手术 B 区 DSA 机房	85	3.77
▲28	控制室	83	4.38
▲29	DSA 机房南侧	83	3.79
▲30	DSA 机房北侧	82	3.59
▲31	中心手术 C 区 DSA 机房	72	2.94
▲32	控制室	82	3.44
▲33	DSA 机房南侧	83	3.78
▲34	DSA 机房北侧	73	3.14
▲35	DSA 机房东侧	80	3.78

表 8-4 拟建场所及周围 β 表面污染监测结果

检测点位	检测点位描述	β 表面污染 (Bq/cm ²)
●1	注射前候诊室	<0.01
●2	注射室	<0.01
●3	废物暂存间	<0.01
●4	源库	<0.01
●5	服碘室	<0.01
●6	甲测室	<0.01
●7	心肌负荷室/抢救室	<0.01
●8	PET 候诊室	<0.01
●9	SPECT 候诊室	<0.01
●10	PET-CT 机房	<0.01
●11	控制室	<0.01
●12	SPECT-CT 机房	<0.01
●13	患者走廊	<0.01
●14	留观区	<0.01

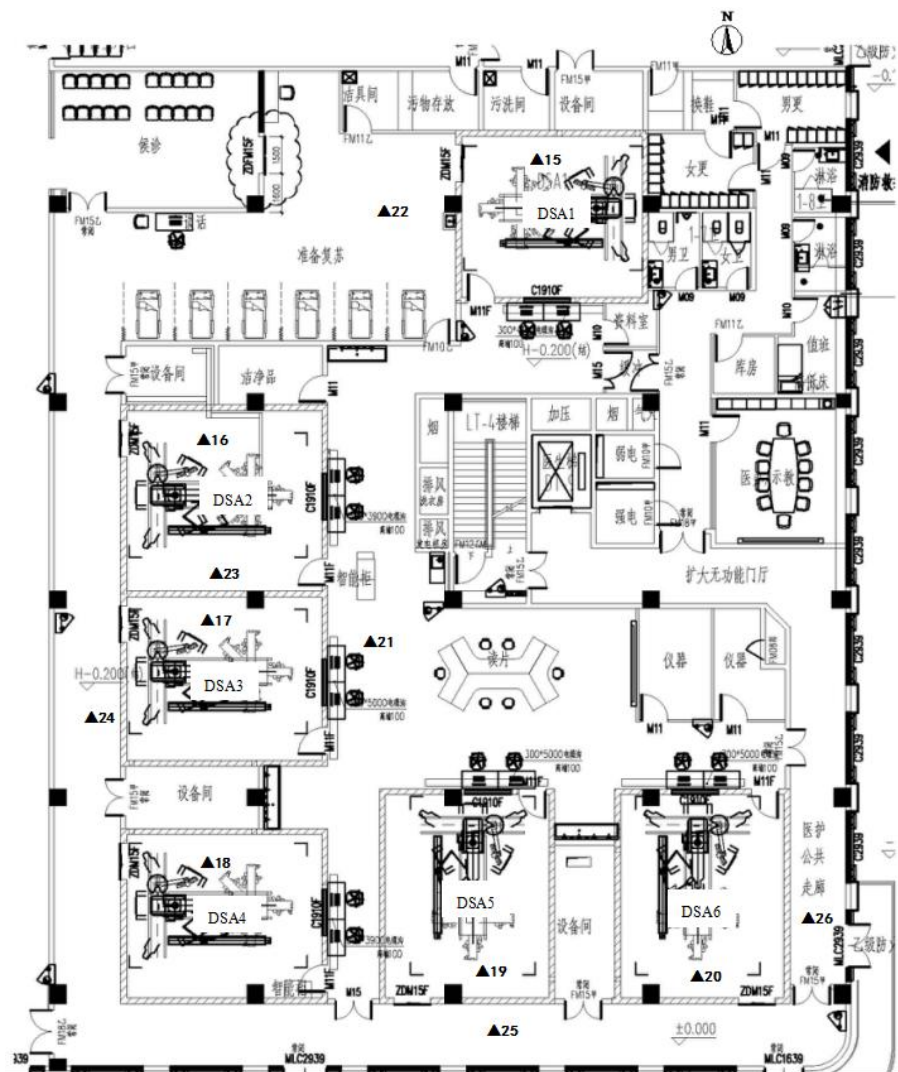
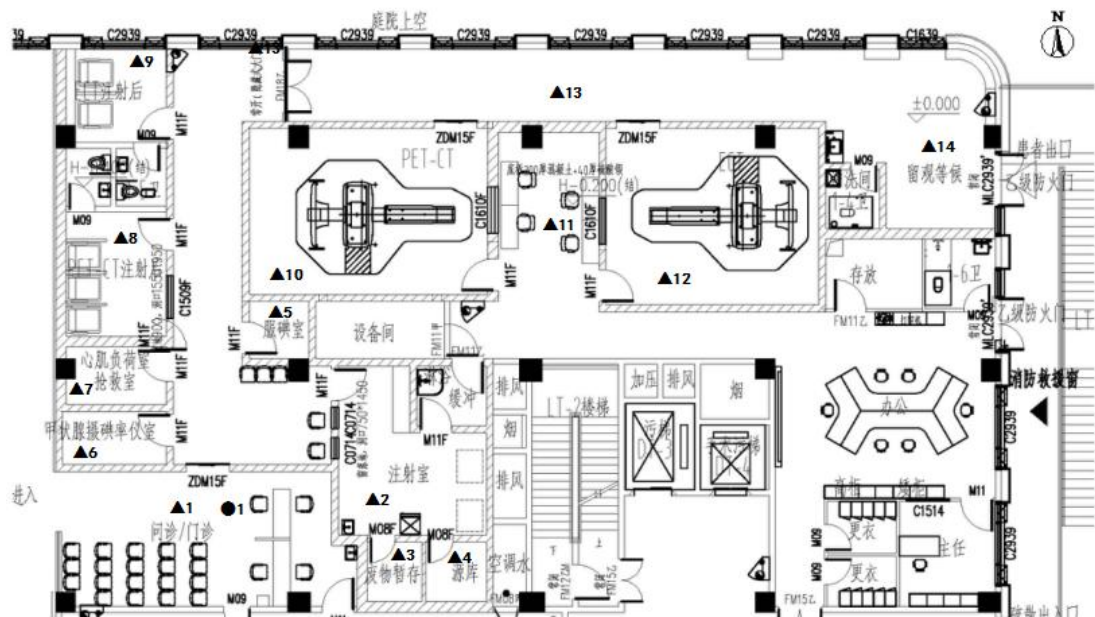


表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 非密封放射性物质

本项目主要使用的非密封放射性物质有 ^{18}F 、 ^{68}Ga （PET-CT 显像检查）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In （SPECT-CT 显像检查）、 ^{131}I （甲状腺功能测定和甲亢治疗）、 ^{89}Sr 、 ^{188}Re 、 ^{153}Sm （骨转移癌治疗）、 ^{32}P （血液疾病治疗）。

9.1.1 性能参数

本项目中核医学科使用的核素 ^{131}I 、 ^{18}F 需根据病人的需要进行分装，其它核素不需要进行分装，外购来可直接使用。需外购的各核素用量按照病人预约情况提前订购，运输到医院后当日可在源库暂存，不贮存。

各核素的性能参数见表 9-1。

表 9-1 本项目使用的各放射性同位素性能参数

核素	半衰期	毒性	主要射线能量 (衰变类型)	物理 性态	日最大用 量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
^{18}F	1.83h	低毒	633.5 keV (β^+) 511 keV (γ)	液态	1.11×10^{10}	2.78×10^{12}	PET-CT 显像
^{68}Ga	68.3min	低毒	1900 keV (β^+) 511 keV (γ)	液态	1.11×10^9	2.78×10^{11}	PET-CT 显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	低毒	140.5 keV (γ)	液态	2.78×10^{10}	6.94×10^{12}	SPECT-CT 显像
^{111}In	2.80d	中毒	511 keV (γ)	液态	1.11×10^9	2.78×10^{11}	SPECT-CT 显像
^{131}I	8.04d	中毒	606.3 keV (β^-) 333.8 keV (β^-) 247.9 keV (β^-)	液态	3.70×10^6	9.25×10^8	甲状腺功能测 定
^{131}I	8.04d	中毒	364.489 keV (γ) 636.989 keV (γ) 284.305 keV (γ)	液态	3.7×10^8	9.25×10^{10}	甲亢治疗
^{89}Sr	50.53d	中毒	1495.1keV (β^-)	液态	4.44×10^8	1.11×10^{11}	骨转移癌治疗
^{188}Re	0.7d	中毒	2.12keV (β^-) 1.96keV (β^-) 0.155keV (γ)	液态	6.66×10^9	1.67×10^{12}	
^{153}Sm	46.5h	中毒	635.3keV (β^-) 705keV (β^-) 808.2keV (β^-) 103.18 keV (γ)	液态	1.11×10^{10}	2.78×10^{12}	
^{32}P	14.3d	中毒	1.17keV (β^-)	液态	1.11×10^9	2.78×10^{11}	血液疾病治疗

9.1.2 PET-CT 显像诊断

(1) 工作原理

PET 正电子发射断层扫描 (PositronEmissionTomography, PET) 的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂, 示踪人体内特定生物物质的生物活动, 采用多层、环形排列于发射体周围的探头, 由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子, 然后将获得的信息, 通过计算机处理, 以解剖影像的形式及其相应的生理参数, 显示靶器官或病变组织的状况, 藉此诊断疾病, 又称为生化显像或功能因子显像, 是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET-CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描 (ComputerTomography, CT) 组合而成的多模式成像系统, 是目前全球最高端的医学影像设备, 同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET-CT 将 PET 与 CT 融为一体, 使两种成像技术优势互补, PET 图像提供功能和代谢等分子信息, CT 提供精细的解剖和病理信息, 通过融合技术, 一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。

(2) 设备组成

PET-CT 扫描仪由 PET 扫描仪和 CT 扫描仪组成。PET 扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成, 它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方, 两者组合在一个机架内, 后配 PET-CT 融合对位工作站, 一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

(3) 工作流程及产污环节

1) 根据医生指导意见, 需要接受 PET-CT 显像检查的人员提前预约登记, 确定用药量, 医院根据实际情况进行预订;

2) 受检者按约定时间在给药前候诊区准备和等候;

3) 准备好的受检者经过专用通道进入注射区, 核素注射医务人员穿戴好个人防护用品, 从贮药铅罐内取药, 在注射台前为受检者注射药物, 注射时间平均约为 30s/人。

4) 注射了放射性药物的受检者进入给药后候诊区或进行检查前的准备;

5) 完成候诊或准备的受检者/患者从给药后候诊区直接进入检查室检查, 医务人员配合受检病人正确摆位后进入操作间进行隔室操作, 摆位时间平均约 1min/每人;

6) 检查完成, 受检者通过专用通道离开核医学区域。

PET-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图见图 9-1。

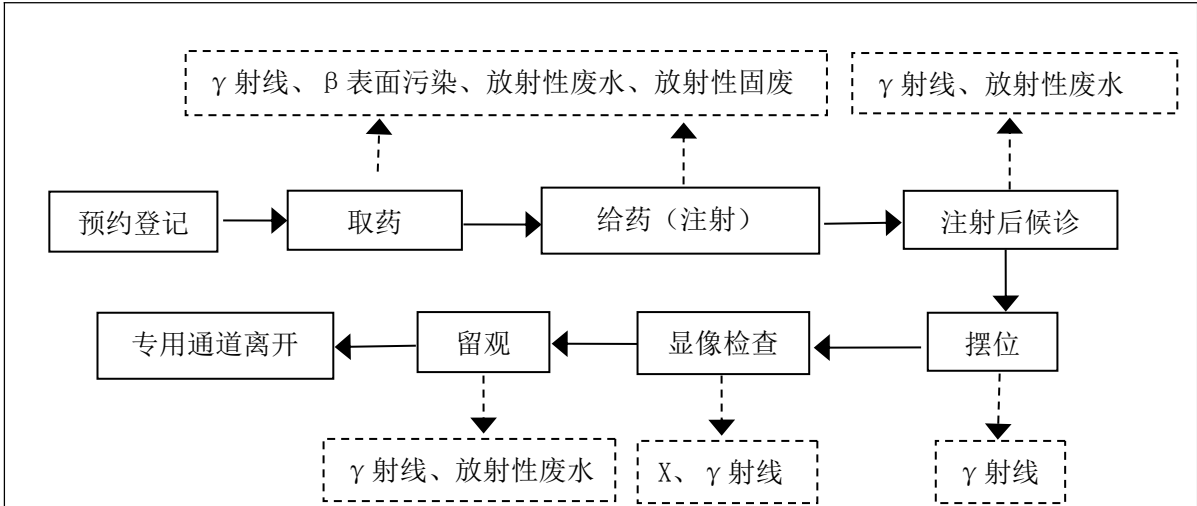


图 9-1 PET-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图

(4) 污染因子

- 1) β射线和γ射线：¹⁸F、⁶⁸Ga 在衰变过程中释放β射线和γ射线，β射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响，γ射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响；因此γ射线是 PET-CT 显像过程主要污染因子。
- 2) X射线：PET-CT 在开机扫描过程中会产生 X 射线，该 X 射线随着机器的开关而产生和消失。
- 3) β表面污染：本项目放射性药物在操作过程中可能洒漏至工作台面、地面、工作人员衣服和手上等处，从而造成β表面污染。
- 4) 放射性废气：¹⁸F、⁶⁸Ga 为非挥发性核素，无溶液挥发，因此无放射性废气。
- 5) 放射性废水：主要来源是诊断、治疗过程中患者注射 ¹⁸F、⁶⁸Ga 后所产生的排泄物冲洗废水、工作人员清洗产生的废水等。
- 6) 放射性固废：主要为剩余放射性药物、注射器、针头、手套、药棉、纱布、擦拭污染地面的物品等。

因此，在使用 PET-CT 显像诊断过程中，将产生 X 射线、γ射线、β表面污染、放射性固废及放射性废水。

9.1.3 SPECT-CT 显像诊断

(1) 工作原理

SPECT（SinglePhotonEmissionComputedTomography，单光子发射型计算机体层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

当某种放射性核素或其标记物通过注射等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 SPECT-CT 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

单光子发射计算机断层摄影（SPECT）基本原理是放射性核素的示踪作用：不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的 γ 射线，利用 SPECT 探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。SPECT-CT 是将 SPECT 和 CT 结合成一体化的设备，不仅提供 SPECT-CT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息。SPECT 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的患者作为辐射源项；CT 扫描过程中会产生 X 射线，此部分工作原理同 X 射线影像诊断用 CT。

（2）设备组成

单光子发射计算机断层仪（SPECT）由探头及电子学线路、可左断层显像的机架、病人检查床、计算机采集和处理工作站组成，SPECT-CT 是单光子发射型计算机断层显像仪和 CT 一体化组合的影像诊断设备。

（3）工作流程及产污环节

- 1) 根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，医院根据实际情况委托供药单位配药；
- 2) 受检者按约定时间在给药前候诊区准备和等候；
- 3) 准备好的受检者经过专用通道进入注射区，注射医务人员穿戴好个人防护用品，从贮药铅罐内取药，在注射台前为受检者注射药物，注射时间平均约为 30s/人。
- 4) 注射了放射性药物的受检者进入给药后候诊区或进行检查前的准备；

- 5) 完成候诊或准备的受检者/患者从给药后候诊区直接进入检查室检查，医务人员配合受检病人正确摆位后进入操作间进行隔室操作，摆位时间平均约 1min/每人；
- 6) 检查完成，受检者通过专用通道离开核医学区域。

SPECT-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图见图 9-2。

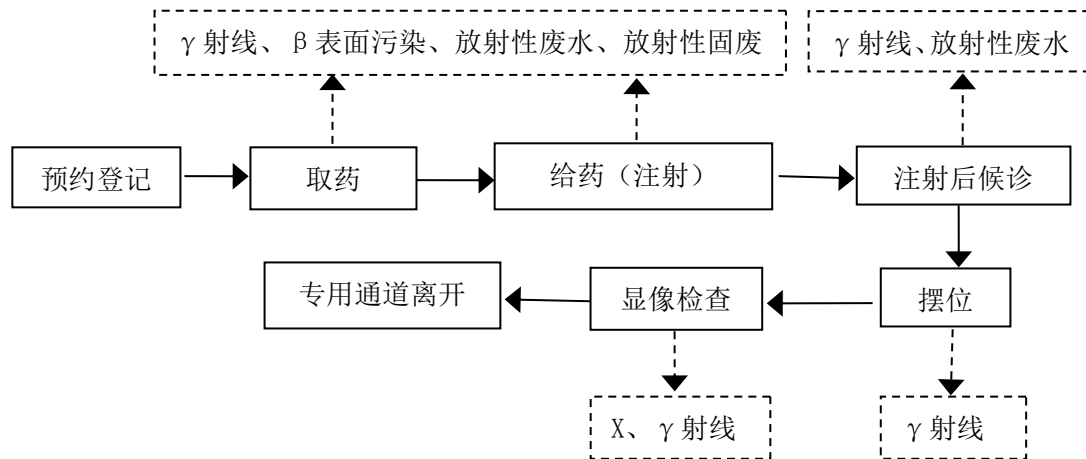


图 9-2 SPECT-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图

（4）污染因子

（1）β 射线和 γ 射线： ^{99m}Tc 、 ^{111}In 在衰变过程中释放 β 射线和 γ 射线，β 射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响，γ 射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响；因此 X 射线和 γ 射线是 SPECT-CT 显像过程主要污染因子。

（2）X 射线：SPECT-CT 在开机扫描过程中会产生 X 射线，该 X 射线随着机器的开关而产生和消失。

（3）β 表面污染：本项目放射性药物在操作过程中可能洒漏至工作台面、地面、工作人员衣服和手上等处，从而造成 β 表面污染。

（4）放射性废气： ^{99m}Tc 、 ^{111}In 为非挥发性核素，无溶液挥发，因此无放射性废气。

（5）放射性废水：主要来源是诊断、治疗过程中患者注射 ^{99m}Tc 所产生的排泄物冲洗废水、工作人员清洗产生的废水等。

（6）放射性固废：主要为剩余放射性药物、注射器、针头、口杯、手套、药棉、纱布、擦拭污染地面的物品等。

因此，在使用 SPECT-CT 显像诊断过程中，将产生 X 射线、γ 射线、β 表面污染、放射性固废及放射性废水。

(5) 人流、物流路径规划

①医护人员路径

核素操作人员及 SPECT-CT 和 PET-CT 设备操作人员均由核医学科南侧医生通道入口 M1 进入核医学科，向东直行至门 M3 左转，向北直行左转，其中设备扫描检查操作人员右转进入机房控制室进行显像扫描，核素操作人员经卫生通过间进入注射室进行分药、施药；在注射室完成仍需经卫生通过间淋浴更衣，检测表面污染合格，才能回到非放射工作场所。卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施。本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

②受检者/患者路径

病人从核医学科南侧病人入口进入核医学科候诊区，在此等候和登记、问诊、宣教，根据叫号通过核医学科南侧单向门禁 M4 进入核医学科工作场所。SPECT-CT 核素显像检查的病人在 ECT 注射口注射后、PET-CT 核素显像检查的病人在 PET 注射口注射后，分别前往相应的候检室休息、候诊，然后进入机房接受扫描检查，扫描结束的患者在留观等候区稍事等候，待医护人员确认图像质量后可直接由核医学科北侧病人出口单向门禁 M6 离开；甲亢、甲测病人在服碘室服药，甲测病人可由入口经工作人员许可后直接离开核医学科，按检测时间由南侧病人入口进入核医学科的甲状腺摄碘率仪室进行检测，甲亢病人在留观等候区稍作留观，并将污洗间内的 1-4 卫生间作为甲亢病人专用卫生间，甲亢病人稍作留观后由核医学科北侧病人出口单向门禁 M6 离开；骨转移癌、血液病病人在注射窗口服药，病人注射后无需留观，直接由核医学科北侧病人出口单向门禁 M6 离开。病人出口位置位于医院东部，该区域人流量较小。

该路径上，受检者/患者出入口（病人走廊出入口）均设置为单向门禁，仅允许受检者/患者单向通行。注射后等候室设有独立的卫生间，受检者可在专用卫生间内如厕，不随意走动。

③放射性药物路径

放射性药物配送人员每天上班前从核医学科南侧病人入口进入，经防护门 M4 进入患者走廊，经注射室，然后将预定的放射性药物送至源库，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

④污物路径

核医学科放射性废物在污物间暂存衰变至符合清洁解控水平后，选择在下班后无病人时段，由污物间运输至医院医疗废物库集中收集后按照医疗废物处置。

9.1.4 ^{131}I 治疗

(1) 工作原理

①甲亢治疗

^{131}I 药品名为碘化钠，甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 ^{131}I 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天（由于人体代谢等原因，有效半衰期比正常半衰期短）。

在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会对甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此， ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

②甲功测定

甲状腺功能测定，是通过观察、测量甲状腺组织摄取和排出引入体内的 ^{131}I 的量与速度，来评价甲状腺的功能状态及其功能调节的情况。甲功测定单次 ^{131}I 给药量很小，最大用量仅为 $5\mu\text{Ci}$ 。

(2) 工作流程及产污环节

- 1) 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，进行治疗前准备：需停用抗甲状腺药物两周以上，低碘饮食四周等；
- 2) 进行相关体检和甲状腺 ^{131}I 摄取率测定（须在甲测室进行）；
- 3) 根据甲亢程度，制定治疗剂量方案；
- 4) 根据制定方案给患者服碘，一般甲亢患者服碘室观察约 10min，如无异常情况，可离开医院。

^{131}I 甲测及甲亢工作流程及产污环节示意图见图 9-3。

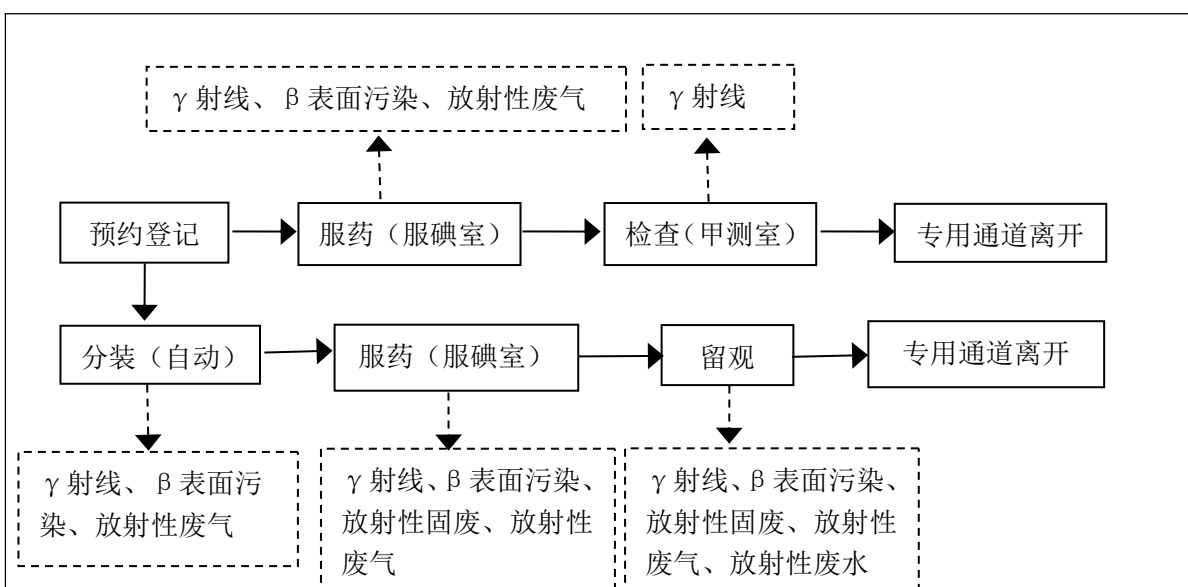


图 9-3 ^{131}I 甲测及甲亢治疗工作流程及产污环节示意图

(3) 污染因子

(1) β 射线和少量 γ 射线：核素在衰变过程中释放 β 射线和少量 γ 射线， β 射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响。

(2) β 表面污染：患者服药后，一次性杯子表面残留的 ^{131}I 撒漏，对地面造成放射性表面污染。

(3) 放射性废气： ^{131}I 为挥发性核素，在 ^{131}I 分装过程会释放出放射性碘含量废气。

(4) 放射性废水：主要来源于服药患者的排泄物以及冲洗用水等。

(5) 放射性固废：主要来源于患者使用的一次性纸杯、擦拭铅罐及污染地面的物品等。特殊情况下残留放射性核素放置于通风柜铅罐内，残留核素及铅罐由供应商厂家回收。

因此， ^{131}I 核素治疗项目的污染因子主要为 γ 射线、 β 表面污染、放射性废气、放射性废水以及放射性固体废物。

9.1.5 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 骨转移癌治疗

(1) 工作原理

① ^{89}Sr

治疗骨肿瘤的放射性药物为临床上常用的 $^{89}\text{SrCl}_2$ ，利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素靶运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞紧密结合。根据当距辐射源的距离增大，来自源的辐射强度随距离平方值增长而减小的原理，使得辐射剂量主要集中在病灶内，而在比较远处的正

常健康细胞得到较低的、不太会引起损伤的剂量。

^{89}Sr 具有趋骨性，在骨病变组织中浓聚更多。癌症晚期患者多会发生癌细胞骨转移，同时引发骨痛症状。骨肿瘤病灶部分由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，易浓聚大量 ^{89}Sr 放射性药物。 ^{89}Sr 衰变时放出最大能量为 1.495MeV 的 β 射线，用于杀死肿瘤细胞而发挥治疗作用。

② ^{153}Sm

^{153}Sm -EDTMP 的络合作用小，不影响血钙，其特点为与骨组织有高的亲和力，浓具在骨更新的部位，并且局限在骨机制的生长区，特别是矿化的骨层，实践证明是有效的缓解晚期骨转移癌疼痛的药物。

③ ^{188}Re

^{188}Re 放射性药物治疗是一种新的肿瘤治疗方法，它是将放射性核素标记药物输送到肿瘤位置，利用放射性核素发出的粒子杀死肿瘤细胞。 ^{188}Re 是近年来使用较广泛的质量型放射性核素，其具有优良的理化性质，可非常方便地由 ^{188}W - ^{188}Re 淋洗获得。本项目用于治疗 ^{188}Re 以高铼酸钠的形式存在，化学结构稳定。

(2) 工作流程及产污环节

根据医院提供的资料，患者需提前预约治疗。所使用的核素为外购单支成品药物，用于治疗的药物由工作人员在手套箱内测量活度后直接在注射室的铅屏蔽窗的屏蔽下为病人注射，每份用于治疗的放射性液体由供药商事先分装，预约病人后按约定用量和时间发货，治疗时不需再分装。在注射室注射窗口对患者进行注射治疗后，如无异常情况，患者可从病人出口离开医院。

^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 骨转移癌治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-4。

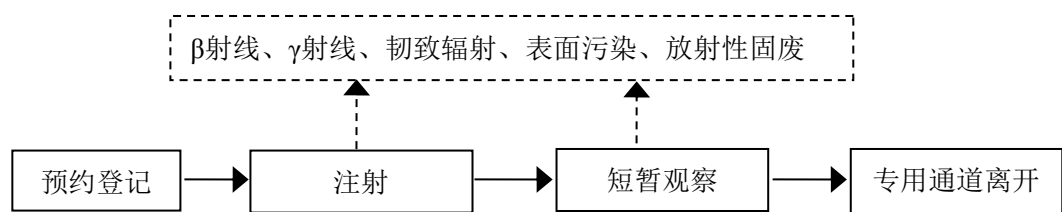


图 9-4 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 骨转移癌治疗工作流程及产污环节示意图

(3) 污染因子

^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 核素在衰变过程中主要释放 β 射线， β 射线穿透力很弱，在

组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响。但 β 射线被阻止会产生韧致辐射。 ^{153}Sm 核素在 β 衰变时伴随发射 0.103MeV 的 γ 射线。

另外，医生在注射过程中，不可避免地会引起工作台、墙壁、地面、工作服、手套造成 β 放射性表面污染。当沾有放射性污染的各种器械、地面、台面和工作人员手清洗时，或病人的排泄物中都会使水中带有各种放射性同位素，造成对水环境的污染。产生的固体废弃物是医生操作戴的手套、一次性注射器等。封装放射性药物的铅罐由供应商回收，不会进入环境。

因此， ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 核素治疗项目的污染因子主要有韧致辐射、 γ 射线、 β 表面污染、放射性废水和放射性固废弃物。

9.1.6 ^{32}P 血液疾病治疗

(1) 工作原理

血细胞增生性疾病在发展过程中，对磷的需求量增高。若给病人以 ^{32}P ，则被迅速生长的组织大量摄取。由于 ^{32}P 衰变时发射 β 粒子，其电离辐射的生物效应使过度增生组织中细胞的 DNA 和 RNA 发生破坏，从而达到治疗目的。

^{32}P 为反应堆产生的放射性核素，衰变时放出 β 射线，为纯 β 衰变，其最大能量为 1.7MeV，平均能量为 0.69MeV，组织内最大射程 8mm，平均射程 4mm。 β 射线容易被物质阻挡，治疗时， β 射线可全部被患者的机体吸收，因此，对外界影响可忽略不计。

(2) 工作流程及产污环节

医生对患者进行检查，根据病情，在本医院医疗条件允许范围内确定注射剂量，与患者预约，根据患者数量订购 ^{32}P 注射药物，在注射室（患者注射室外）对患者进行注射治疗，患者在原地短暂观察后，如无异常情况，患者可离开。

^{32}P 血液疾病治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-5。

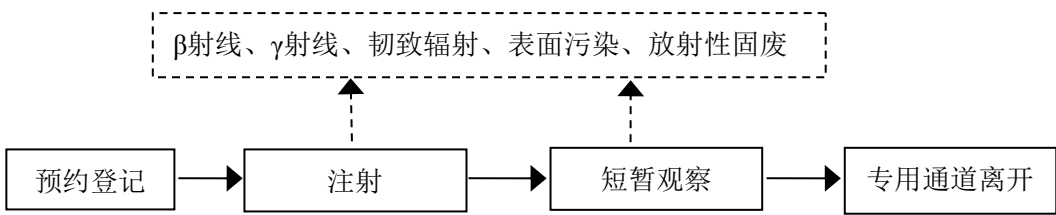


图 9-5 ^{32}P 血液疾病治疗工作流程及产污环节示意图

(3) 污染因子

^{32}P 核素在衰变过程中主要释放 β 射线， β 射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响。但 β 射线被阻止会产生韧致辐射。

另外，医生在注射过程中，不可避免地会引起工作台、墙壁、地面、工作服、手套造成 β 放射性表面污染。当沾有放射性污染的各种器械、地面、台面和工作人员手清洗时，或病人的排泄物中都会使水中带有各种放射性同位素，造成对水环境的污染。产生的固体废弃物是医生操作戴的手套、一次性注射器等。封装放射性药物的铅罐由供应商回收，不会进入环境。

因此， ^{32}P 核素治疗项目的污染因子主要有韧致辐射、 β 表面污染、放射性废水和放射性固体废弃物。

9.2 射线装置

9.2.1 DSA、PET 和 SPECT 设备配套用的 CT

(1) 工作原理

X 射线装置主要由 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 9-10。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。

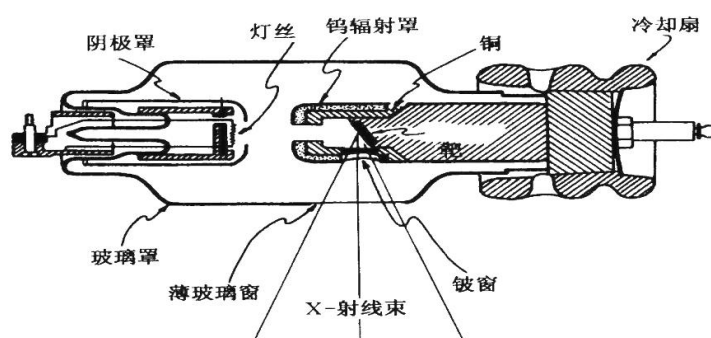


图 9-10 典型 X 射线管结构图

① CT

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层

的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

②DSA

数字减影血管造影（DSA）是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是 70 年代以来应用于临床的一种崭新的 X 线检查新技术。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，首先进行第一次成像，并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。两次数值相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像，更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。

（2）设备组成

CT 基本结构均是由产生 X 线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

DSA 主要组成部分：带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。

（3）操作流程

① CT

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X 线球管连续地发射 X 线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

②DSA

诊断时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达上腔静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

（4）污染因子

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线，且在开机期间 X 射线与空气作用将产生臭氧、氮氧化物等有害气体。因此，本项目 DSA 和 CT 在开机期间 X 射线为主要污染因子，其次为臭氧、氮氧化物。

9.3 污染源项描述

9.3.1 核医学科污染源项分析

(1) X 射线、 γ 射线、 β 射线

PET-CT、SPECT-CT 扫描时产生的 X 射线；在药物分装、测活、注射，病人注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线及 β 射线。

(2) β 放射性表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

(3) 放射性废气

在放射性药物分装时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

(4) 放射性废水

放射性废水主要为含有放射性核素的病人排泄物和工作场所清洗废水等。

参考《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），门诊患者（主要为 PET 显像诊断患者、SPECT 显像诊断患者）每人每次用水定额取 10L，核医学科每日诊断患者 66 人，废水排污系数取 0.8，患者废水产生量为 $0.53\text{m}^3/\text{d}$ ；辐射工作人员每日去污共产生废水 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ ；核医学科每日清洗废水按 $0.1\text{L}/\text{m}^2$ 计，核医学科工作场所面积约 500m^2 ，清洗废水产生量为 $0.05\text{m}^3/\text{d}$ 。则核医学科废水产生量为 $0.68\text{m}^3/\text{d}$ ， $170\text{m}^3/\text{a}$ 。

(5) 放射性固废

开展核素诊断治疗时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，按照每人 0.02kg 产生量进行估算，正常情况下，核医学科年放射性固体废物的产生量为 1000kg 。

排风管道更换的下的废活性炭含有放射性核素也属于放射性废物。核医学科共有 2 支排风管道，放射性废气排放口位于住院楼屋顶，排放口设置活性炭吸附装置，活性炭装置填装量 50kg ，平均每半年更换一次，产生量为 $100\text{kg}/\text{a}$ 。

9.3.2 DSA 机房污染源项分析

DSA 装置的 X 射线诊断机曝光时产生 X 射线及伴生的微量臭氧。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。因此，DSA 在开机状态下，产生的污染因子有 X 射线以及微量臭氧

和氮氧化物。

9.4 非正常工况污染源项描述

一、核医学科

主要考虑电离辐射损伤、放射性药物失控对环境及公众的影响。

(1) 机房安全联锁装置发生故障时，设备正在运行时人员误入造成误照射。

(2) 核素发生丢失、被盗或操作使用过程中发生意外洒漏时，会对周围环境及人员造成辐射影响。

二、DSA 机房

工作人员或病人家属尚未撤离 DSA 机房时误开机，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局

(1) 核医学科工作场所

本项目核医学科工作场所拟设置在手术楼一层。核医学科工作用房包括 SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、注射室、注射后候诊室、心肌负荷室兼抢救室、甲状腺摄碘率仪室、服碘室、源库、废物暂存间、留观等候区、注射后患者通道、卫生通过间、污洗间等。护士站、办公室、主任室等非放射性工作区域拟设置于上述相关工作用房邻近区域。

核医学科工作场所东侧和北侧为室外，西侧为走廊，南侧为介入中心；楼下为去污区，楼上为中心手术 A 区。核医学科工作场所四周布局及分区见表 10-1，其楼下及楼上对应区域分别见附图 4 和附图 6。

核医学科工作场所控制区走廊出入口防护门设置门禁系统，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“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。”的要求。

核医学科 PET 和 SPECT 显像诊断区域药物分装、注射与扫描检查分开，注射后候诊室内设有注射后病人专用卫生间，注射室出口设置卫生通过间，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于核医学工作场所对于平面布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）中关于安全操作的要求。

表 10-1 核医学科工作场所位置及四周布局一览表

辐射场所	位置	东	南	西	北	上	下
核医学科	手术楼一层	室外	介入中心	走廊	室外	中心手术 A 区	去污区

综上所述，核医学科不毗邻产科、儿科、食堂，病人出口不经过门诊大厅收费处等人群稠密区域，和其他工作区域相邻，但不相通，出入口设置有单向门禁系统，可避免与工作无关人员任意出入而受到不必要的辐射照射或扩大污染范围，本项目布局符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）

等标准的要求，因此本项目平面布局基本合理。

10.1.2 工作场所分区

(1) 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出各核素的日等效最大操作量。

日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (10-1)$$

根据（10-1）式计算得到的各核素的日等效操作量及分级结果见表 10-2。

表 10-2 工作场所分级（乙级： $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ ）

工作场所	核素名称	实际日最大操作量 (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)	日等效最大操作量叠加 (Bq)	工作场所分级
核医学科	^{18}F	1.11×10^{10}	0.01	10	1.11×10^7	2.13×10^9	乙级
	^{68}Ga	1.11×10^9	0.01	1	1.11×10^7		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.01	10	2.78×10^7		
	^{111}In	1.11×10^9	0.1	1	1.11×10^8		
	^{131}I (甲测)	3.7×10^6	0.1	1	3.7×10^5		
	^{131}I (甲亢)	3.7×10^8	0.1	1	3.7×10^7		
	^{89}Sr	4.44×10^8	0.1	1	4.44×10^7		
	^{188}Re	6.66×10^9	0.1	1	6.66×10^8		
	^{153}Sm	1.11×10^{10}	0.1	1	1.11×10^9		
	^{32}P	1.11×10^9	0.1	1	1.11×10^8		

备注：根据中华人民共和国环境保护部办公厅文件，环办辐射函[2016]430 号关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知中：常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取 1、放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”；2、医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。

根据表 10-2 可知，医院核医学科应按照乙级工作场所进行管理。

核医学工作场所的分类根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）提供的加权活度计算公式得出，见表 10-3。

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \quad (10-2)$$

表 10-3 核医学工作场所分类

工作场所	核素名称	计划的日操作最大活度 (Bq)	核素的毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
源库	^{99m}Tc	2.78×10^{10}	1	100	2.78×10^8	2.01×10^{10}	II类 (50~50000MBq)
	^{111}In	1.11×10^9	1	100	1.11×10^7		
	^{18}F	1.11×10^{10}	1	100	1.11×10^8		
	^{68}Ga	1.11×10^9	1	100	1.11×10^7		
	^{131}I	3.70×10^6	100	100	3.70×10^6		
	^{131}I	3.7×10^8	100	100	3.7×10^8		
	^{89}Sr	4.44×10^8	100	100	4.44×10^8		
	^{188}Re	6.66×10^9	100	100	6.66×10^9		
	^{153}Sm	1.11×10^{10}	100	100	1.11×10^{10}		
	^{32}P	1.11×10^9	100	100	1.11×10^9		
注射室	^{99m}Tc	2.78×10^{10}	1	1	2.78×10^{10}	2.01×10^{12}	I类 (>50000MBq)
	^{111}In	1.11×10^9	1	1	1.11×10^9		
	^{18}F	1.11×10^{10}	1	1	1.11×10^{10}		
	^{68}Ga	1.11×10^9	1	1	1.11×10^9		
	^{131}I	3.70×10^6	100	1	3.70×10^8		
	^{131}I	3.7×10^8	100	1	3.7×10^{10}		
	^{89}Sr	4.44×10^8	100	1	4.44×10^{10}		
	^{188}Re	6.66×10^9	100	1	6.66×10^{11}		
	^{153}Sm	1.11×10^{10}	100	1	1.11×10^{12}		
	^{32}P	1.11×10^9	100	1	1.11×10^{11}		
服碘室	^{131}I	3.7×10^8	100	1	3.7×10^{10}	3.7×10^{10}	II类 (50~50000MBq)
心肌负荷室兼抢救室	^{99m}Tc	2.78×10^{10}	1	10	2.78×10^9	3.89×10^9	II类 (50~50000MBq)
	^{18}F	1.11×10^{10}	1	10	1.11×10^9		
甲测室	^{131}I	3.7×10^6	100	10	3.7×10^7	3.7×10^7	III类 (<50MBq)
SPECT-CT 机房、ECT 注射后候诊室 (含卫生间)	^{99m}Tc	2.78×10^{10}	1	10	2.78×10^9	2.89×10^9	II类 (50~50000MBq)
	^{111}In	1.11×10^9	1	10	1.11×10^8		
PET-CT 机房、PET 注	^{18}F	1.11×10^{10}	1	10	1.11×10^9	1.22×10^9	II类 (50~50000MBq)

射后候 诊室 (含卫 生间)	^{68}Ga	1.11×10^9	1	10	1.11×10^8		
污洗 间、废 物暂存 间	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	1	10	2.78×10^9	2.01×10^{11}	I 类 (> 50000MBq)
	^{111}In	1.11×10^9	1	10	1.11×10^8		
	^{18}F	1.11×10^{10}	1	10	1.11×10^9		
	^{68}Ga	1.11×10^9	1	10	1.11×10^8		
	^{131}I	3.70×10^6	100	10	3.70×10^7		
	^{131}I	3.7×10^8	100	10	3.7×10^9		
	^{89}Sr	4.44×10^8	100	10	4.44×10^9		
	^{188}Re	6.66×10^9	100	10	6.66×10^{10}		
	^{153}Sm	1.11×10^{10}	100	10	1.11×10^{11}		
	^{32}P	1.11×10^9	100	10	1.11×10^{10}		
留观等 候区	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	1	10	2.78×10^9	7.81×10^9	II 类 (50~ 50000MBq)
	^{111}In	1.11×10^9	1	10	1.11×10^8		
	^{18}F	1.11×10^{10}	1	10	1.11×10^9		
	^{68}Ga	1.11×10^9	1	10	1.11×10^8		
	^{131}I	3.7×10^8	100	10	3.7×10^9		

对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构的要求”，I、II、III类核医学工作场所的基本防护要求见表 10-4。

表 10-4 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构的要求

场所 分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及 去污设备
I	地板与墙壁 接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	下水道宜短，大 水流管道应有 标记以便维修。	需要
II	易清洗且不 易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通 风	一般要求	只需清洗 设备

（2）工作场所分区管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射性工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门

锁和连锁装置)限制进出控制区,放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

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

(3) 区域划分

根据 GB18871-2002 控制区和监督区的定义,结合核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点,本项目核医学科控制区、监督区的划分如表 10-5 和图 10-1~10-3 所示。

表 10-5 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
核医学科	SPECT-CT机房、PET-CT机房、注射室、注射后候诊室、心肌负荷室兼抢救室、甲状腺摄碘率仪室、服碘室、源库、废物暂存间、留观等候区、注射后患者通道、留观等候区、卫生通过间、污洗间、衰变池	控制室、设备间、护士站、候诊区、医护走廊、电梯间、楼梯间、存放间、1-6 卫生间、相邻过道

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施,建设单位应做到:

1) 控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志;
- ②制定职业防护与安全管理措施,包括适用于控制区的规则和程序;
- ③运用行政管理程序(如进入控制区的工作许可制度)和实体屏障(包括门锁和链锁装置)限制进出控制区;
- ④在卫生通过间配备个人防护用品、工作服、污染监测设备、淋浴设施和被污染防护衣具的贮存柜;
- ⑤定期审查控制区的实际状况,以确保是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

2) 监督区防护手段与安全措施

- ①采用黄线划出监督区的边界;
- ②在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌;
- ③定期检查该区的条件,以确定是否需要采取防护措施和作出安全规定,或是否需要更改监督区的边界。

10.1.3 辐射屏蔽设计

核医学科采用的屏蔽设计具体情况见表 10-6，平面布置见图 10-1。

表 10-6 核医学科辐射工作场所屏蔽设计一览表

序号	工作场所	辐射屏蔽材料及厚度	
1	PET-CT 机房	四侧墙体	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 8mm 铅板
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
2	SPECT-CT 机房	东墙、北墙	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		西墙、南墙	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 6mm 铅板
		观察窗	6mmPb 铅玻璃
3	分装注射室	四侧墙体	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 6mm 铅板
		¹⁸ F 注射窗	20mmPb 铅玻璃
		^{99m} Tc 注射窗	40mmPb 铅玻璃
4	服碘室	四侧墙体	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 4mm 铅板
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
5	贮源室	南墙	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		东墙、西墙、北墙	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 4mm 铅板
6	污物间	南墙、西墙	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料

		东墙、北墙	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 4mm 铅板
7	心肌负荷室兼抢救室	东墙、南墙、北墙	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		西墙	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 4mm 铅板
8	PET-CT 注射后候诊室 (含卫生间)	西墙	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		东墙、南墙、北墙	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 6mm 铅板
9	SPECT-CT 注射后候诊室 (含卫生间)	东墙、南墙	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		西墙	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料
		防护门	内衬 4mm 铅板

PET-CT 和 SPECT-CT 中的 CT 部分属Ⅲ类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性如表 10-7 所示。

表 10-7 PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房辐射屏蔽设计符合性评价表

工作场所	设计情况	设计	标准要求	符合性
PET-CT 机房	机房有效面积	41.9m ²	30m ²	符合
	最小单边长度	5.06m	4.5m	符合
	四侧墙体	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 7mmpb）	2.5mmpb	符合
	顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 6.5mmpb）	2.5mmpb	符合

SPECT-CT 机房	地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 6.5mmpb）	2.5mmpb	符合
	工作人员防护门	内衬 8mm 铅板（相当于 8mmpb）	2.5mmpb	符合
	受检者防护门	内衬 8mm 铅板（相当于 8mmpb）	2.5mmpb	符合
	观察窗	8mmPb 铅玻璃（相当于 8mmpb）	2.5mmpb	符合
	机房有效面积	40.2m ²	30m ²	符合
	最小单边长度	5.44m	4.5m	符合
	东墙、北墙	24cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 6mmpb）	2.5mmpb	符合
	西墙、南墙	37cm 实心红砖墙+4mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 7mmpb）	2.5mmpb	符合
	顶棚	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 6.5mmpb）	2.5mmpb	符合
	地坪	20cm 混凝土+4mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 6.5mmpb）	2.5mmpb	符合
	工作人员防护门	内衬 6mm 铅板（相当于 8mmpb）	2.5mmpb	符合
	受检者防护门	内衬 6mm 铅板（相当于 8mmpb）	2.5mmpb	符合
	观察窗	6mmPb 铅玻璃（相当于 8mmpb）	2.5mmpb	符合

备注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³，硫酸钡水泥密度 3.2 g/cm³，铅玻璃密度 4.1g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³。参考《放射防护实用手册》（济南出版社）第 6 章外照射的防护表 6.14：150kV 管电压下 80mm 钢筋混凝土折算为 1.0mmPb，24cm 实心砖折算为 2.0mmPb。

DSA 机房采用的屏蔽设计具体情况见表 10-8，介入中心平面布置见图 10-2，中心手术区平面布置见图 10-3。

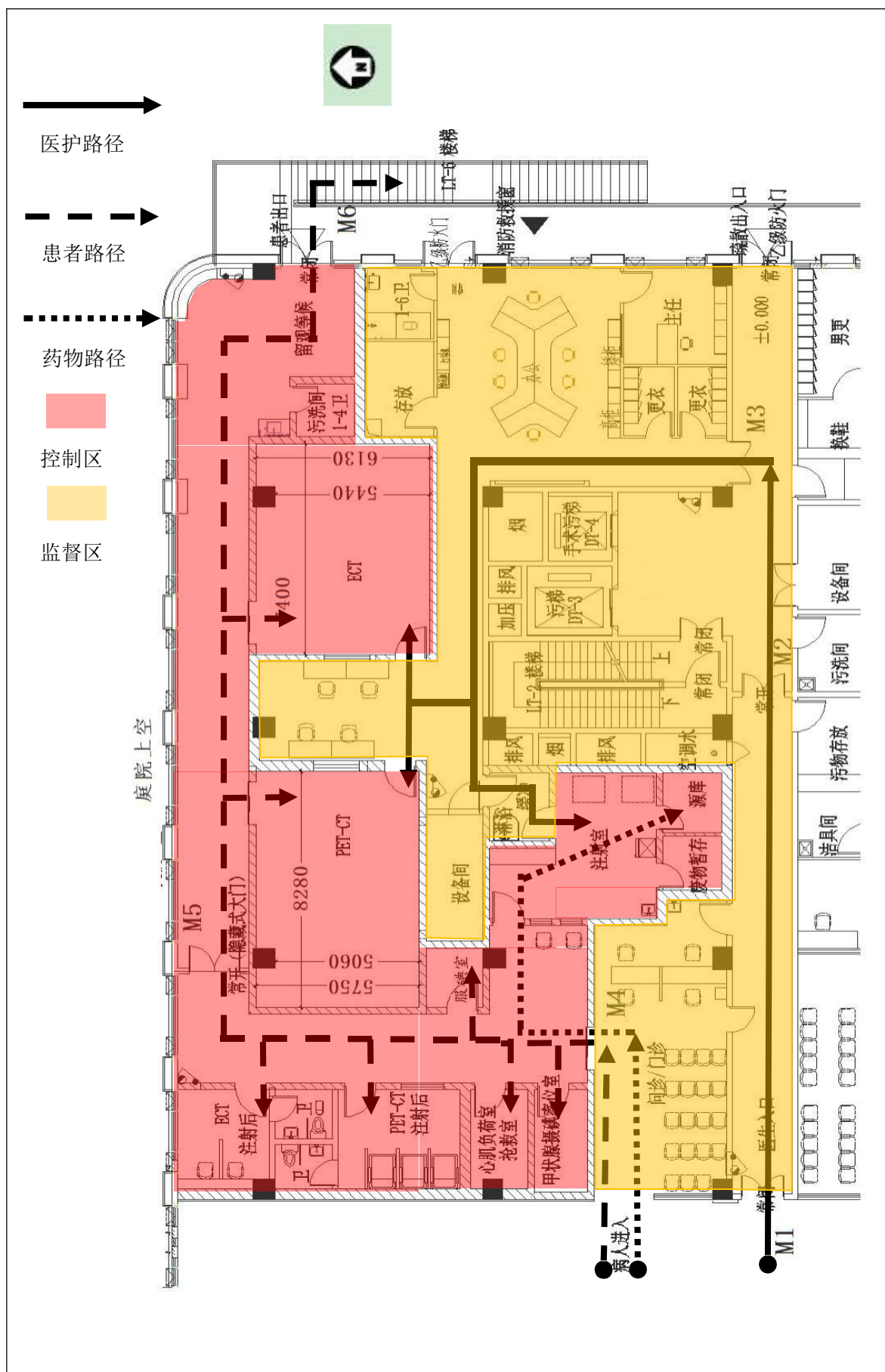
表 10-8 DSA 机房辐射屏蔽设计符合性评价表

工作场所	设计情况	设计	标准要求	符合性
介入中心 DSA1 机房	机房有效面积	48.8m ²	30m ²	符合
	最小单边长度	6.6m	4.5m	符合
	四侧墙体	24cm 实心红砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 5mmpb）	有用线束方向铅当量均为 3mmPb	符合
	顶棚/地坪	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（相当于 4.5mmpb）	非有用线束方向铅	符合

		防护门	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)	当量均为 2mmPb	符合
		观察窗	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4mmpb)		符合
	介入中心 DSA2 机房	机房有效面积	59.2m ²	30m ²	符合
		最小单边长度	7.4m	4.5m	符合
		四侧墙体	24cm 实心红砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 5mmpb)	有用线束 方向铅当 量均为 3mmPb 非有用线 束方向铅 当量均为 2mmPb	符合
		顶棚/地坪	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸 钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)		符合
		防护门	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)		符合
		观察窗	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4mmpb)		符合
	介入中心 DSA3 机房	机房有效面积	49.8m ²	30m ²	符合
		最小单边长度	6.23m	4.5m	符合
		四侧墙体	24cm 实心红砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 5mmpb)	有用线束 方向铅当 量均为 3mmPb 非有用线 束方向铅 当量均为 2mmPb	符合
		顶棚/地坪	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸 钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)		符合
		防护门	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)		符合
		观察窗	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4mmpb)		符合
	介入中心 DSA4 机房	机房有效面积	49.0m ²	30m ²	符合
		最小单边长度	6.13m	4.5m	符合
		四侧墙体	24cm 实心红砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 5mmpb)	有用线束 方向铅当 量均为 3mmPb 非有用线 束方向铅 当量均为 2mmPb	符合
		顶棚/地坪	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸 钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)		符合
		防护门	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)		符合
		观察窗	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4mmpb)		符合
	DSA5 机房 和 DSA6 机 房	机房有效面积	33.7m ²	30m ²	符合
		最小单边长度	4.75m	4.5m	符合
		四侧墙体	24cm 实心红砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 5mmpb)	有用线束 方向铅当 量均为 3mmPb	符合
		顶棚/地坪	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸		符合

			钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)	非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	
		防护门	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)		符合
		观察窗	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4mmpb)		符合
	中心手术 B 区 DSA 机房 (B9)	机房有效面积	86.54m ²	30m ²	符合
		最小单边长度	7.79m	4.5m	符合
		四侧墙体	24cm 实心红砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 5mmpb)	有用线束方向铅当量均为 3mmPb 非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	符合
		顶棚/地坪	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)		符合
		防护门	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)		符合
		观察窗	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4mmpb)		符合
	中心手术 C 区 DSA 机房 (C01)	机房有效面积	75.7m ²	30m ²	符合
		最小单边长度	7.2m	4.5m	符合
		四侧墙体	24cm 实心红砖墙+3mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 5mmpb)	有用线束方向铅当量均为 3mmPb 非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	符合
		顶棚/地坪	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)		符合
		防护门	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)		符合
		观察窗	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4mmpb)		符合

备注：混凝土砷密度不低于 2.35g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³，硫酸钡水泥密度 3.2 g/cm³，铅玻璃密度 4.1g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³。



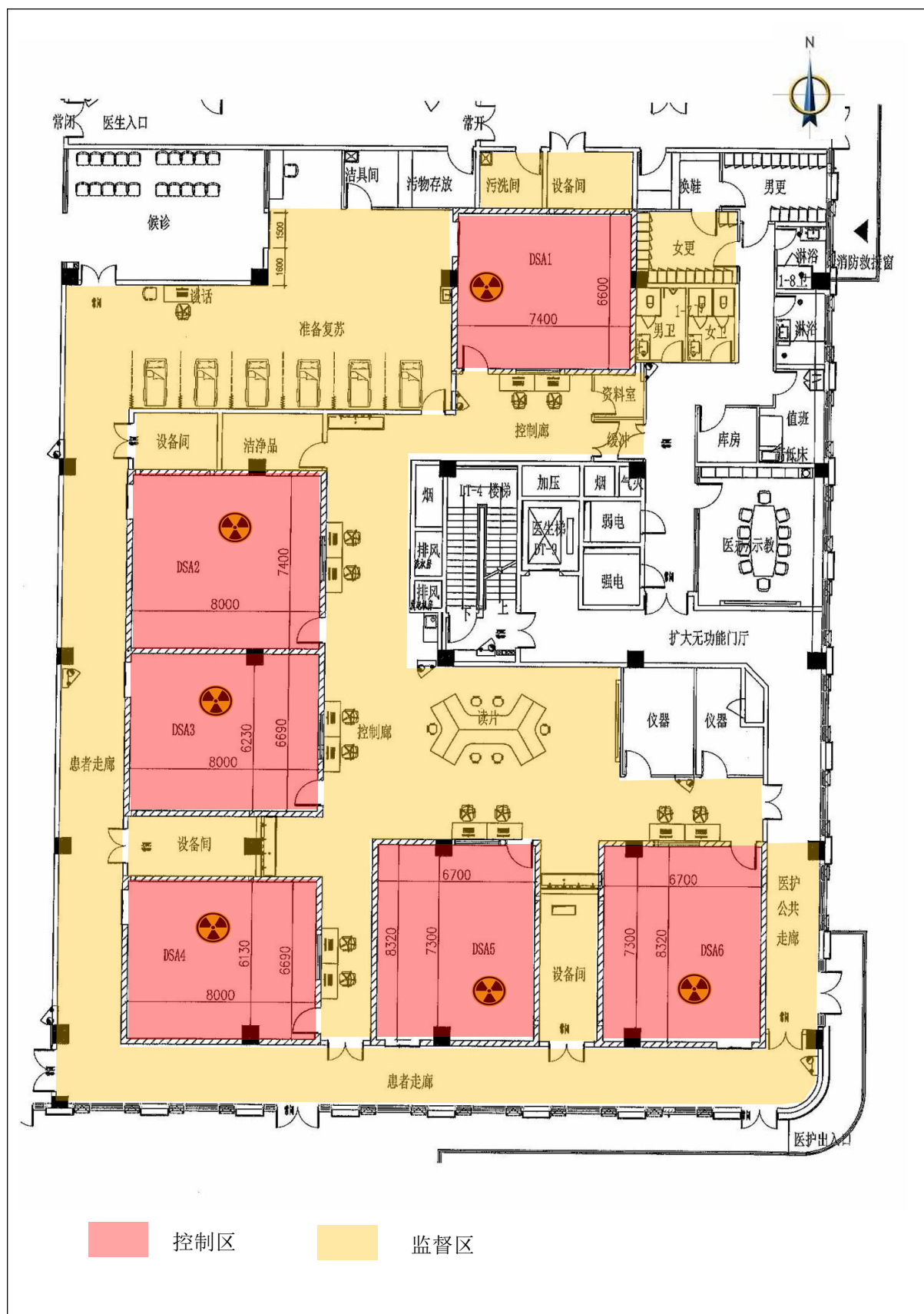


图 10-2 介入中心 6 间 DSA 机房平面布置及分区图

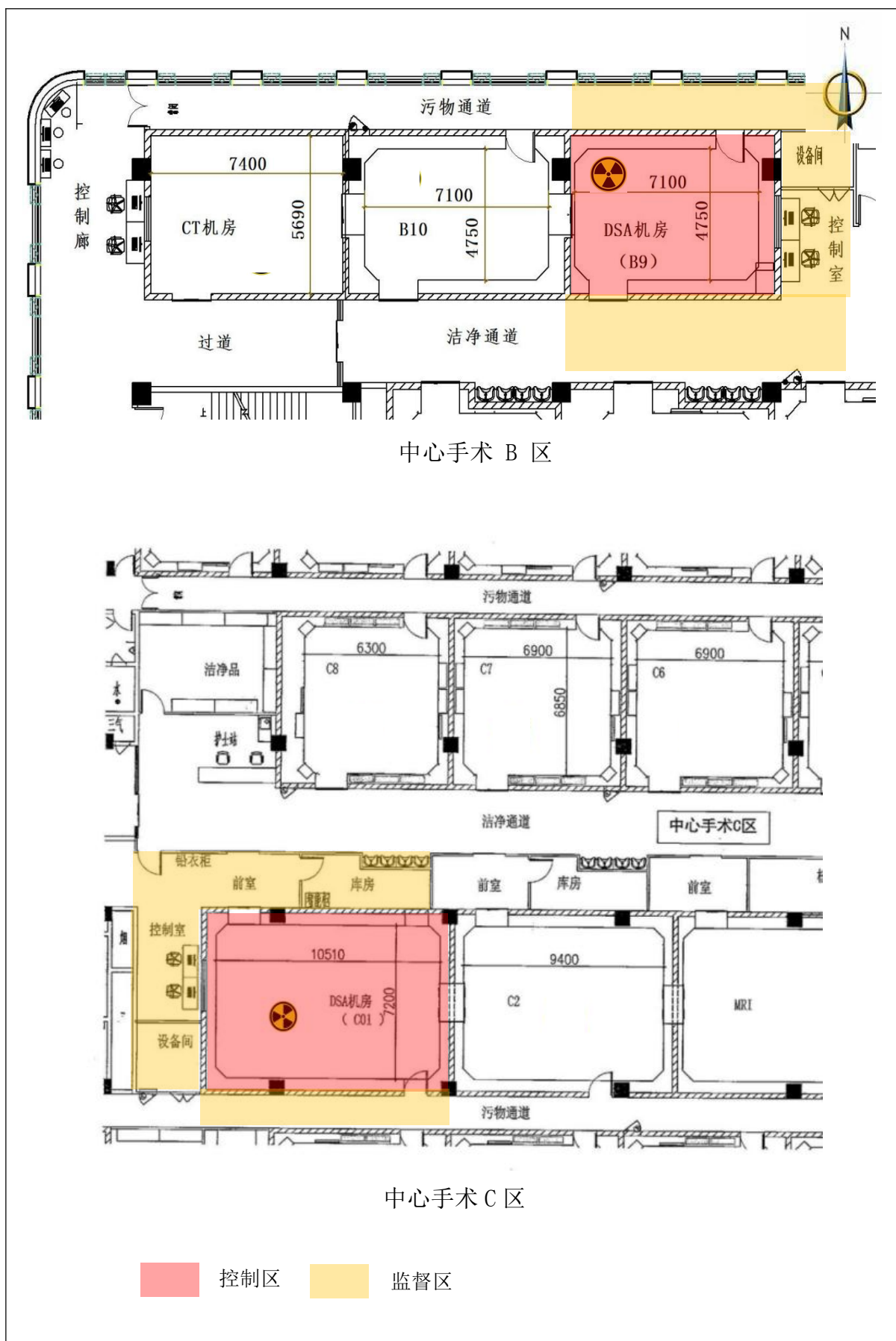


图 10-3 中心手术区 DSA 机房平面布置及分区图

10.2 辐射防护措施

10.2.1 核医学科工作场所

(1) 辐射安全措施要求

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。

2) PET-CT 和 SPECT-CT 机房应设置门灯联锁装置，机房与控制室、注射后候诊室拟设置对讲装置与监视器。

3) 在 PET-CT 和 SPECT-CT 机房防护门、注射后候诊室防护门、注射室防护门、贮源室防护门、污物间防护门、手套箱、衰变桶等处设置电离辐射警告标志；在 PET-CT 和 SPECT-CT 机房防护门上方安装工作状态指示灯。

4) 核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。受检者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

5) 核医学工作场所应设独立的通风系统；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，遵循自清洁区向监督区再向控制区的流向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体对工作场所造成交叉污染，保证工作场所的空气质量。

6) ^{18}F 分装操作在手套箱内进行，应有专用的排风装置，手套箱风速应不小于 0.5m/s ，排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

7) 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。

8) 注射后等候室设置患者专用厕所，分装注射室设有清洗池，放射废水直接流向衰变池。给药后受检者在各自给药后等候室内进行候诊严禁串门，防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；受检者的排泄、呕吐物等均由受检者专用厕所排放至衰变池内。

9) 淋浴间和注射后候诊室、留观室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，

受检者专用卫生间的便池拟设为感应式节水座便马桶。

10) 储源保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理, 并做好防火、防盗措施。
对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等, 严格登记建档。

11) 射线装置运行过程中, X 射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体, 机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风。

(2) 防护设备与防护用品

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 中个人防护用品的配置要求, 结合本项目的情况, 建设单位拟配置的个人防护用品、监测仪器和应急及去污用品见表 10-9。

表 10-9 个人防护用品、监测仪器和应急及去污用品的配置要求

序号	设置场所	所需产品名称	数量	铅当量
1	分装注射室	手套箱	1 台	50mmPb
2	分装注射室	储源铅罐	2 个	50mmPb
3	分装注射室	脚踏式废物桶	2 个	10mmPb
4	服碘室	脚踏式废物桶	1 个	10mmPb
5	服碘室	自动分碘仪	1 台	/
6	分装注射室	注射器防护套	2 个	25mmPb
7	分装注射室	注射防护车	1 个	20mmPb
8	分装注射室	防护注射窗	2 个	40mmPb/20mmPb
9	PET 机房	移动式铅屏风	1 个	10mmPb
10	SPECT 机房	移动式铅屏风	1 个	4mmPb
11	SPECT 注射 后候诊室	移动式铅屏风	1 个	2mmPb
12	污物间	铅衰变柜	1 个	10mmPb
13	分装注射室	铅衣、铅围裙、放射性污染防护服、铅围脖、铅帽、铅眼镜	3 套	0.5mmPb
14	分装注射室	活度计	1 台	/
15	核医学科	个人剂量报警仪	2 只	/
16	核医学科	便携式 X- γ 射线巡测仪	1 台	/
17	核医学科	α/β 表面污染仪	1 台	/
18	核医学科	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	按需配备	/

		警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子		
--	--	--------------------------	--	--

(3) 操作过程中的防护要求

1) 放射性药品的操作防护

医生在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。分装时，通过自动分装装置将定量的药物移至注射器，将其置于注射器防护提盒内后，经测量核定药物活度后转移给病人注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射后候诊室候诊。

医生在进行放射性药品质控操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。工作人员分装少量药物并置于铅防护罐内，通过药物传递窗口送达质控室。质控人员将药物转移至手套箱内，利用注射器或毛细管在手套箱内沾取少量药物，滴在烧杯内试纸上待扩散完全后进行检测。

2) 服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，陪护人员不允许在候检室等控制区内驻留，同时要求病人在注射后观察期内及住院期间禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

3) 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。

4) 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 7-2 规定值，应采取相应去污措施。

5) 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7-2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6) 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。

7) 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

8) 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, 使用应急及去污用品, 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。

9) 核医学放射工作人员应按 GBZ 128 的要求进行外照射个人监测, 同时对于近距离操作放射性药物的工作人员, 宜进行手部剂量和眼晶体剂量监测, 保证眼晶体的年当量剂量不超过 150 mSv, 四肢(手和足)或皮肤的年剂量不超过 500mSv。

10.2.4 贮源室应采取的污染防治措施

本项目使用的核素由供应单位派专人送至核医学科贮源室, 贮源室防护门拟设计为铅防盗门, 钥匙由专人负责保管; 日常期间由值班人员 24 小时监控; 出入口安装摄像头及红外报警系统并与 110 联网。

10.2.5 DSA 机房

(1) 各 DSA 机房最小单边长度、有效使用面积及屏蔽情况应满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 的要求。

(2) 医院须在所有 DSA 操作室墙上张贴相应的操作规程。

(3) 所有 DSA 机房内布局要合理, 应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置; 不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物; 机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风。

(4) 所有 DSA 机房均须设置工作指示灯, 门外均须张贴电离辐射警告标志及其中文警示说明; 各机房门应有闭门装置, 且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

(5) 各机房门口均应设置 1m 警戒线, 告知公众成员在黄色警戒线外等待。

(6) 医院应配备必要的符合防护要求的个人防护用品和辅助防护设施, 建议医院按照 GBZ130-2020 的要求(详见表 10-10)配置相应的个人防护用品和辅助防护设施。

表 10-10 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

DSA	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
注1：“—”表示不要求。 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。				

10.3 三废的治理

10.3.1 核医学科

本项目核医学科使用放射性同位素过程中会产生含放射性的固体废物、废水、废气，医院拟采取的治理措施如下。

10.3.1.1 放射性废水

该项目核医学科产生的放射性废液的主要来源：①工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时产生的放射性废水；②清洗受到污染的注射器容器、铅防护套等辅助防护用品产生的放射性废水；③受检者的冲洗排便用水、呕吐物。本项目在正常工况下基本不产生废水。

（1）放射性废水排放管道设置

核医学科产生的放射性废水经专用管道排入医院拟设置的衰变池，¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc 核素半衰期均小于 24 小时，¹¹¹In 半衰期大于 24 小时，其放射性废液暂存时间超过 30 天且满足 ¹¹¹In 暂存时间超过其 10 倍半衰期后可直接解控排放；¹³¹I 核素半衰期大于 24 小时，其放射性废液暂存时间超过 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：每月排放总活度<10ALI_{min}，每次排放活度<1ALI_{min}。放射性废液总排放口总不大于 10 Bq/L、放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。放射性废水排放流程见图 10-4。

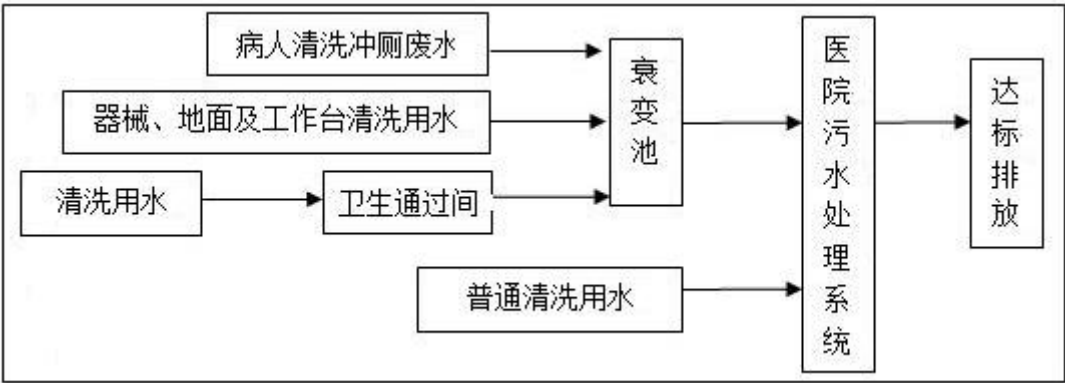


图 10-4 放射性废水排放流程图

(2) 衰变池设置情况

医院拟在手术楼东北角室外地下设置 ^{131}I 专用衰变池和显像诊断衰变池，由 300mm 混凝土浇筑而成，地埋设置。 ^{131}I 专用衰变池拟设置为 3 级并联式，由 3 个衰变池组成，单个有效容积为 1.5m^3 ，总容积 4.5m^3 。显像诊断衰变池拟设置为 3 级并联式，由 3 个衰变池组成，衰变池单个有效容积为 10m^3 ，总容积 30m^3 。衰变池并联设置，交替使用。在衰变池排放出口设置自动采样监测和自动监测装置，可自动监测废水辐射剂量率，任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后（监测指标为：总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ ），方可排入医院污水管网，最后进入医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。

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。衰变池平面图见图 10-5，废水管线布置见图 10-6。

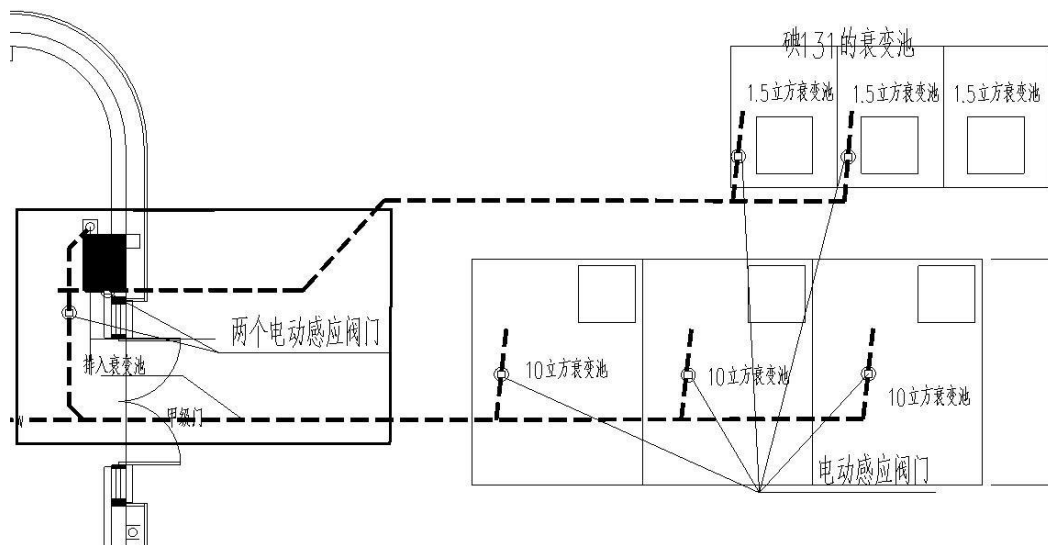


图 10-5 衰变池平面图

具体管理要求：

(1) 废物收集

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。

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。

③放射性废物每袋重量不超过 20 kg。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。

(2) 固体放射性废物贮存

①放射性废物储存场所应安装通风换气装置，并应有专用的排风管道。入口处应配置电离辐射警示标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏的措施。

②废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别的废物应分开存放。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。

③废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

(3) 固体放射性废物处理

①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。

②医院的衰变池池底部会沉积少量的沉积物，该沉积物每年清运一次，应按危废处置要求进行处理。

10.3.1.3 放射性废气

该项目放射性废气主要来源：①核医学科 ^{131}I 操作过程中会产生一定量的放射性废气；④ ^{131}I “甲亢”治疗患者呼出的放射性气体。

针对放射性废气，医院拟采取的处理措施如下：

本项目核医学科设有2条排风管道，1号管道单独连接高活室手套箱，2号管道连接SPECT-CT机房、PET-CT机房、注射室、注射后候诊室、心肌负荷室兼抢救室、甲状腺摄碘率仪室、服碘室、源库、废物暂存间、留观等候区、污洗间等区域，设计使用总排风量为2000m³/h的排风机，排放风速不低于0.5m/s；产生的废气经由

图10-7 排风设计图

10.3.2 DSA 机房

68

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备，且安装调试阶段不涉及放射源和非密封放射性物质的操作。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科辐射环境影响分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

(1) 核医学工作场所屏蔽体外剂量率计算公式

核医学工作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式为：

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots\dots\dots \text{（式 11-1）}$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ——屏蔽厚度，单位为 mm；

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

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

R ——参考点与放射源间的距离，m。

PET 诊断项目使用的放射性核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga ， ^{18}F 核素诊断人数最多，日使用量最大，且各核素诊断流程相同，因此 PET 诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析。SPECT 诊断项目使用的放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$

和 ^{111}In 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素诊断人数最多，日使用量相对于 ^{111}In 核素较大，且各核素诊断流程相同，因此 ^{111}In 核素对工作场所的影响分析按照 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行辐射屏蔽分析，除外还需分析骨转移癌治疗项目使用 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 核素进行治疗；使用核素 ^{32}P 进行血液病治疗。

表 11-1 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I	^{153}Sm	^{188}Re
铅什值层厚度 mm ($\rho=11.3\text{t/m}^3$)	16.6	1	11	1.3	3
混凝土什值层厚度 mm ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)	176	110	170	90	120
硫酸钡什值层厚度 mm ($\rho=2.79\text{t/m}^3$)	148	93	143	76	101
砖什值层厚度 mm ($\rho=1.65\text{t/m}^3$)	263	160	240	128	171
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.143	0.0303	0.0595	0.072	/
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.092	0.0207	0.0583	0.012	0.0069

备注：① ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 周围剂量当量率常数及来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；②表中 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的 TVL 取值参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）， ^{153}Sm 、 ^{188}Re 的 TVL 取值参考《辐射防护手册第三分册》（潘自强主编）中的图 2.16 几种常用屏蔽材料对宽束 γ 射线的半值层和十分之一值层厚度。

（2）辐射工作人员受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式11-2计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11-3。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times U \dots\dots\dots \text{（式 11-2）}$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

U ——使用因子，U取1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选取，具体数值见表 11-2。

表 11-2 居留因子的选取

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

(3) 工作场所辐射水平分析及预测

1) 储源室

本项目使用的核素，医院根据与病人预约情况向药物供应商订货，由药物供应商将药物放置于铅罐，直接运输至源库待用。放射药物置于铅罐内再放入源库内。源库南侧墙体为 37cm 实心砖加 4mmPb 硫酸钡防护涂料，其它三侧墙体为 24cm 实心砖加 4mmPb 硫酸钡防护涂料，顶棚和地坪为 20cm 混凝土加 4mmPb 硫酸钡防护涂料，防护门内衬 4mm 铅板，放射性药物在源库暂存期间对周围辐射环境影响很小。

2) 废物间

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1% 计。废物间东墙和北墙为 24cm 实心砖加 4mmPb 硫酸钡防护涂料，南墙和西墙为 37cm 实心砖加 4mmPb 硫酸钡防护涂料，顶棚和地坪为 20cm 混凝土加 4mmPb 硫酸钡防护涂料，防护门内衬 4mm 铅板，放射性固废暂存于废物间 10mmPb 铅废物箱中，在废物间暂存衰变期间对周围辐射环境影响很小。

3) 高活室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到高活室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。所用核素 ^{18}F 需由工作人员穿着 0.5mm 铅当量防护衣通过 40mmPb 的通风橱进行操作；其它核素由药物供应商按单人注射量分装后放入注射器防护套内，注射前医护人员在 20mmPb 的通风橱内直接从铅罐内拿出带有防护套的注射器，并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。

PET 诊断患者注射时，药物置于 10mmPb 注射器防护套内，工作人员 PET 注射

室内在 40mmPb 铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。

SPECT 诊断患者注射时，药物置于 10mmPb 注射器防护套内，工作人员 SPECT 注射室内在 20mmPb 铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。

4) 候诊室

PET 诊断和 SPECT 诊断患者注射完放射性药物后，通过患者通道进入相关候诊室，诊断患者的候诊时间一般为 20min，随后进入相应机房进行显像和诊断；诊断患者结束检查后通过患者通道进入留观室，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则由患者通道离开。骨癌等治疗患者注射完放射性药物后直接离开核医学科。

核素诊断场所拟设置 1 间 PET 坐候室，坐候室设置 3 张候诊座位，座位均匀分布，设置防护屏风 2 个（4mmPb）。PET 每次仅能扫描一个患者，患者注射 ^{18}F 药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）的点源计算。坐候室按 3 个 ^{18}F 扫描患者同时等待，单个患者注射 ^{18}F 为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则坐候室源强总活度为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ （30mCi）。

核素诊断场所拟设置 1 间 SPECT 候诊室，设置 2 张候诊座位，座位均匀分布，设置防护屏风 1 个（4mm 铅当量）。ECT 每次仅能扫描一个患者， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的点源计算。SPECT 候诊室按 2 个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描患者同时等待或观察，单个患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则 SPECT/CT 候诊室源强总活度为： $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ （50mCi）。

5) 心机负荷室兼抢救室

心机负荷室存在使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者，患者注射药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi）的点源计算。

患者在显像诊断过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算，注射 ^{18}F 的患者每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），故按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）点源计算。抢救过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶围裙，按身体距离患者约 1m 进行估算。

6) 服碘室

甲亢患者服碘后可在留观等候区留观，留观室设置 1 张病床，病人服用药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，偏保守的角度仍按单个病人 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。

7) 机房摆位人员

摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶围裙，在防护屏风 (PET-CT 机房为 10mm 铅当量，SPECT-CT 机房为 4mm 铅当量) 后进行摆位工作，按身体距离患者约 1m 进行估算。

8) 患者走廊

患者走廊可能存在使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 的患者，以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算。注射 ^{18}F 的患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。

根据式 11-1，拟建核医学科工作场所辐射剂量率计算结果见表 11-3，关注点位置见图 11-1。

表 11-3 核医学科工作场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强（Bq）	屏蔽厚度	辐射剂量率（μSv/h）	
1	注射室	PET手套箱取药位	0.5	$^{18}\text{F}1.11\times10^{10}$	50mmPb铅罐 +40mmPb手套箱	1.6×10^{-2}	
2		SPECT手套箱取药位	0.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times10^{10}$	50mmPb铅罐 +20mmPb手套箱	2.32×10^{-66}	8.53×10^{-22}
				$^{153}\text{Sm}1.11\times10^{10}$		7.59×10^{-52}	
				$^{188}\text{Re}6.66\times10^9$		8.53×10^{-22}	
3		PET注射位	0.5	$^{18}\text{F}3.7\times10^8$	0.5mmPb防护衣 +40mmPb注射窗	0.77	
4		SPECT注射位	0.5	$^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times10^8$	0.5mmPb铅衣 +20mmPb注射窗	1.08×10^{-18}	1.93×10^{-4}
				$^{153}\text{Sm}3.7\times10^9$		3.73×10^{-13}	
				$^{188}\text{Re}2.22\times10^9$		1.93×10^{-4}	
5		西墙体外30cm处	4.0	$^{18}\text{F}3.7\times10^8$	24cm实心砖 +4mmPb硫酸钡	3.6×10^{-2}	3.6×10^{-2}
				$^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times10^8$	防护涂料 +10mmPb防护套	1.4×10^{-8}	
6	上方30cm处	3.7	$^{18}\text{F}3.7\times10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡	2.44×10^{-2}	2.44×10^{-2}	

				$^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times 10^8$	防护涂料 +10mmPb防护套	7.9×10^{-13}	
7		下方距地 170cm 处	4.6	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.58×10^{-2}	1.58×10^{-2}
				$^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times 10^8$	防护涂料 +10mmPb防护套	0.5×10^{-12}	
8	服碘室	上方 30cm 处	3.7	$^{131}\text{I}3.7\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	5.51×10^{-2}	9.08×10^{-2}
9		下方距地 170cm 处	4.6	$^{131}\text{I}3.7\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	3.57×10^{-2}	
10	PET-CT 机房	观察窗外 30cm 处	4.8	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	8mmPb铅玻璃	0.49	
11		医生摆位 处	0.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	10mm铅屏风 +0.5mmPb铅衣	31	
12		防护门外 30cm 处	3.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	8mm铅板	0.092	
13		西墙体外 30cm 处	3.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	37cm实心砖 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	0.7	
14		北墙体外 30cm 处	3.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	37cm实心砖 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	0.7	
15		上方 30cm 处	3.7	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	9.94×10^{-2}	
16		下方距地 170cm 处	4.6	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	6.43×10^{-2}	
17	PET 注 射后候 诊室	上方 30cm 处	3.7	$^{18}\text{F}1.11\times 10^9$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	0.3	
18		下方距地 170cm 处	4.6	$^{18}\text{F}1.11\times 10^9$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	0.19	
19	SPECT 注射后 候诊室	上方 30cm 处	3.7	$^{99\text{m}}\text{Tc}1.85\times 10^9$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.57×10^{-2}	

20		下方距地 170cm 处	4.6	$^{99m}\text{Tc}1.85\times 10^9$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.01×10^{-2}	
21	SPECT- CT 机房	观察窗外 30cm 处	4.2	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	6mmPb铅玻璃	1.0×10^{-6}	
22		防护门外 30cm 处	3.6	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	6mm铅板	1.5×10^{-6}	
23		医生摆位 处	0.5	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	4mm铅屏风 +0.5mmPb铅衣	2.42×10^{-3}	
24		北墙体外 30cm 处	3.6	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	24cm实心红砖墙 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.77×10^{-2}	
25		南墙体外 30cm 处	4.4	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	37cm实心红砖墙 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.78×10^{-3}	
26		东墙体外 30cm 处	4.2	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	24cm实心红砖墙 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.3×10^{-2}	
27		上方 30cm 处	3.7	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.68×10^{-2}	
28		下方距地 170cm 处	4.6	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	1.09×10^{-2}	
29	心肌负 荷室兼 抢救室	抢救位	0.5	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	0.5mmPb铅衣	127	151.5
30			0.5	$^{99m}\text{Tc}9.25\times 10^8$	0.5mmPb铅衣	24.5	
31	患者走 廊	上方 30cm 处	3.7	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	9.94×10^{-2}	
32		下方距地 170cm 处	4.6	$^{18}\text{F}3.7\times 10^8$	20cm混凝土 +4mmPb硫酸钡 防护涂料	6.43×10^{-2}	

由上表估算结果可知，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均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。

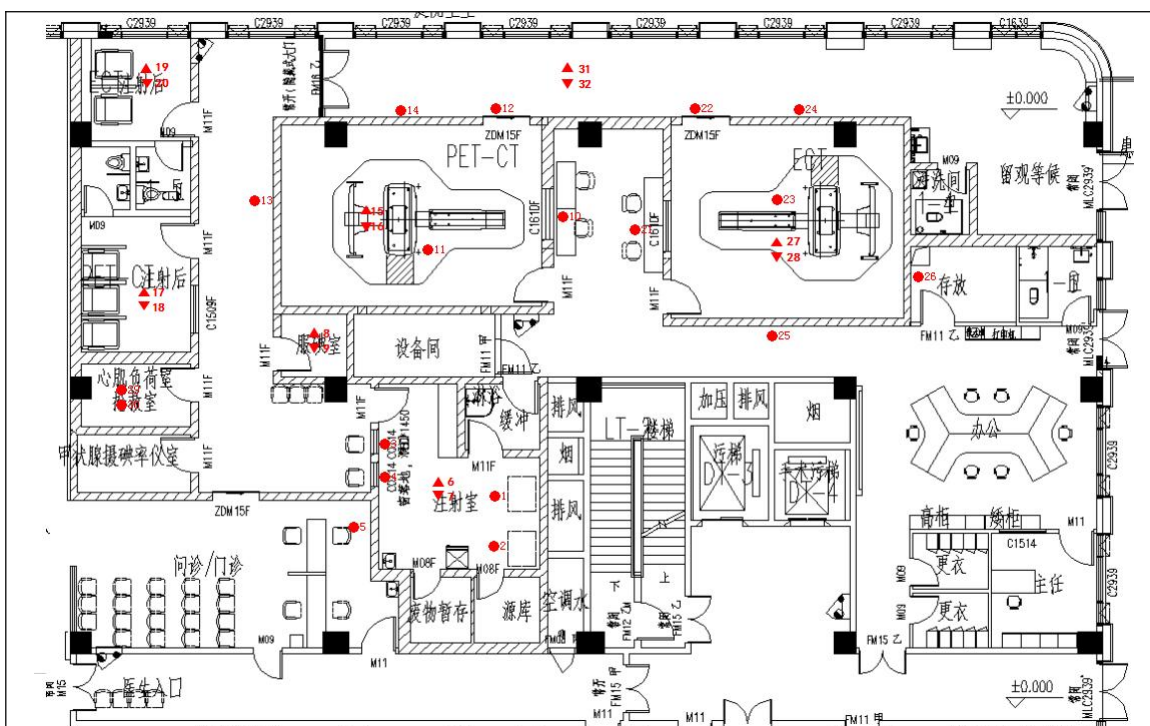


图 11-1 核医学科工作场所关注点位图

实际上，患者在注射后候诊室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

(4) 放射性核素产生的β射线辐射环境影响分析

放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{32}P 为纯β衰变，在衰变过程中仅产生β射线。根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在空气中的射程按公式 11-3 计算。

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{\text{MAX}} \quad \dots\dots\dots (\text{式 } 11-3)$$

式中：

d——β射线在介质中的射程，cm；

ρ——介质的密度，空气密度为 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ ；铅密度为 11.34g/cm^3 ；铅玻璃密度为 4.6g/cm^3 ；

E_{MAX} ——β射线的最大能量，MeV。

经计算可知，放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{32}P 产生的β射线在空气中的射程很短， ^{89}Sr 为 578cm， ^{32}P 为 663cm，而本项目核医学科核素诊断工作场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在铅中的射程最大为 0.07cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，且有铅玻璃进行屏蔽，故放射性核素 ^{89}Sr

但β射线在与物质作用会产生韧致辐射，韧致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算采用下式计算：

式中:

A ——放射源活度, Ci;

E —— β 射线的最大能量, MeV;

r ——参考点与韧致辐射源的距离, m;

f ——转换系数 $8.73 \times 10^{-3} \text{Gy/R}$ 。

核素产生的韧致辐射剂量率情况详见 11-4。

核素	源活度	屏蔽物质原子序数	β射线最大能力 (MeV)	距离 (m)	剂量率 (μGy/h)
⁸⁹ Sr	4mCi	10.6	1.491	0.5	0.56
³² P	10mCi	10.6	1.71	0.5	1.85

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学科工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 11-5。

注射室	分装	药品分装、测活	30 秒/次	2 人一组 轮岗，共 2 组
	注射	给患者注射药物	30 秒/次	
运动负荷室	注射	给患者注射 ^{99m}Tc 药物	30 秒/次	
PET-CT 机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	2 人一组 轮岗，共 2 组
PET-CT 控制室	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	5 分钟/次	
SPECT-CT 机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	2 人一组 轮岗，共 2 组
SPECT-CT 机房 控制室	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	10 分钟/次	

77

注点处人员居留因子等参数，由式11-2计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11-6。

表11-6核医学科工作场所辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
注射室	取药	1.6×10^{-2} (1#)	68.75h (30s/次 $\times$ 33 次/d $\times$ 250d)	1.1×10^{-3}	0.21/人
		8.53×10^{-22} (2#)	81.25h (30s/次 $\times$ 39 次/d $\times$ 250d)	6.93×10^{-23}	
		0.56 (^{89}Sr)	6.25h (30s/次 $\times$ 3 次/d $\times$ 250d)	3.5×10^{-3}	
		1.85 (^{32}P)	6.25h (30s/次 $\times$ 3 次/d $\times$ 250d)	1.56×10^{-2}	
	注射	0.77 (3#)	68.75h (30s/次 $\times$ 33 次/d $\times$ 250d)	5.29×10^{-2}	
		1.93×10^{-4} (4#)	81.25h (30s/次 $\times$ 39 次/d $\times$ 250d)	1.57×10^{-5}	
		0.56 (^{89}Sr)	6.25h (30s/次 $\times$ 3 次/d $\times$ 250d)	3.5×10^{-3}	
		1.85 (^{32}P)	6.25h (30s/次 $\times$ 3 次/d $\times$ 250d)	1.56×10^{-2}	
抢救室	抢救	151.5 (29#30#)	5h (每次抢救按 30 分钟计， 一年不超过 10 次)	0.76	
PET-CT 机房	摆位	31 (11#)	137.5h (1min/次 $\times$ 33 次/d $\times$ 250d)	4.26	1.15/人
	扫描	0.49 (10#)	687.5h (5min/次 $\times$ 33 次/d $\times$ 250d)	0.34	
SPECT-C T 机房	摆位	2.42×10^{-3} (23#)	137.5h (1min/次 $\times$ 33 次/d $\times$ 250d)	0.33	0.08/人
	扫描	1.0×10^{-6} (21#)	1375h (10min/次 $\times$ 33 次/d $\times$ 250d)	1.38×10^{-6}	

综上，核医学科辐射工作人员的年有效剂量最大为 1.15mSv，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

(6) 公众受照剂量估算

根据表11-3预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式11-2计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，见表11-7。

表11-7核医学科公众人员年有效剂量估算

关注场所	人员 类型	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	距离 (m)	居留 因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
北侧室外道路	公 众	0.7 (14#)	3	1/40	2000	3.9×10^{-3}
西南侧候诊区		3.6×10^{-2} (5#)	4	1/20	2000	2.3×10^{-4}

东南侧办公区		1.3×10^{-2} (26#)	3	1	2000	2.9×10^{-3}
东南角居民		1.3×10^{-2} (26#)	23	1	2000	4.9×10^{-5}
上方手术区洁净走廊		0.3 (17#)	3.7	1	2000	0.04
下方去污区		0.19 (18#)	4.6	1	2000	1.8×10^{-2}

根据上述估算结果可知：公众年有效剂量最大为0.04mSv，随着距离越远，核医学科诊断场所50m范围内公众所受的年有效剂量越小，因此本项目公众年剂量约束值不超过0.1mSv的要求。

综上所述核医学科核素诊断工作场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评要求的年有效剂量管理约束值即工作人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a。

（7）X射线影响分析

对于 PET-CT、SPECT-CT 机房，还需考虑 PET-CT、SPECT-CT 运行时产生的 X 射线的辐射屏蔽。拟建 PET-CT、SPECT-CT 机房四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度满足核素屏蔽要求，均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目的各机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关防护设施的技术要求。因此可进一步得知本次评价的射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h”的要求。

本评价项目拟建的 PET-CT 和 SPECT-CT 均拥有专用的机房，射线机房的使用面积、辐射屏蔽厚度及相关防护措施均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求（见表 10-7）。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）是以保证机房外的人员可能受照剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的要求为目的，进行推算规定射线机房的屏蔽厚度要求，由此可进一步得知本项目在运行阶段，PET-CT 和 SPECT-CT 扫描装置产生的 X 射线对机房外环境的影响可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB1881-2002）的相关要求。

除此外，PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房均设有观察窗，其设置的位置便于观察

到病人和病人状态。机房内布局合理,避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置;机房设置动力排风系统,并保持良好的通风。机房门外设有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯,灯箱处设警示语句;机房门设闭门装置,且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。医院规定病人和陪护人不应在机房内候诊;检查过程中陪护人不得滞留在机房内。

11.2.2 DSA

(1) 类比监测

为分析了解该医院的 DSA 建成投入运行后对周围环境所造成的辐射环境影响,本次评价选择了浙江大学医学院附属第一医院庆春院区目前已投入运行的 DSA 进行类比。其可比性分析详见表 11-8。

表 11-8 类比情况一览表

内容		类比对象	本项目		类比分析
技术参数(最大管电压/管电流)		125kV/1250mA	150kV/1250mA		基本一致
主要设备		DSA	介入中心 DSA	中心手术区 DSA	一致
防护设施	防护门	内衬 3mm 铅板	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)	内衬 4mm 铅板 (相当于 4mmpb)	优于
	观察窗	3mm 铅当量	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4.5mmpb)	4mmPb 铅玻璃 (相当于 4.5mmpb)	优于
	四侧墙体	3mm 铅当量	24cm 实心红砖墙 +3mmPb 硫酸钡防护 涂料 (相当于 5mmpb)	24cm 实心红砖墙 +3mmPb 硫酸钡防护 涂料 (相当于 5mmpb)	优于
	顶棚	16cm 混凝土(相当于 2.0mm 铅当量)	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)	优于
	地坪	16cm 混凝土(相当于 2.0mm 铅当量)	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)	20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料 (相当于 4.5mmpb)	优于

由表 11-8 可知,两个项目具有很好的可比性,通过对类比对象的检测,可预测本项目运行后的辐射环境影响。类比检测结果见表 11-9,类比检测点位图见图 11-2。

表 11-9 类比项目机房周围 X-γ辐射剂量率检测结果

机房名称	点位序号	点 位 描 述	辐射剂量率 (nGy/h)	
			平均值	标准差

DSA 6号机房 125kV/1000mA 2号楼2楼	▲11	工作人员出入门 30cm 处	关机	79.6	1.4
			开机	81.6	1.1
	▲12	观察窗（操作位）	关机	79.0	1.2
			开机	79.8	1.3
	▲13	病人出入门 30cm 处	关机	78.7	0.9
			开机	100.4	2.1
	▲14	东侧血管造影准备室内	关机	79.7	0.9
			开机	80.4	1.1
	▲15	机房内医生操作位	关机	79.4	1.0
			开机	4069.0	6.0
	▲16	机房三楼，13 号机房操作室内	关机	87.6	1.7
			开机	87.0	1.6

注：检测结果未扣除仪器对宇宙射线的响应。

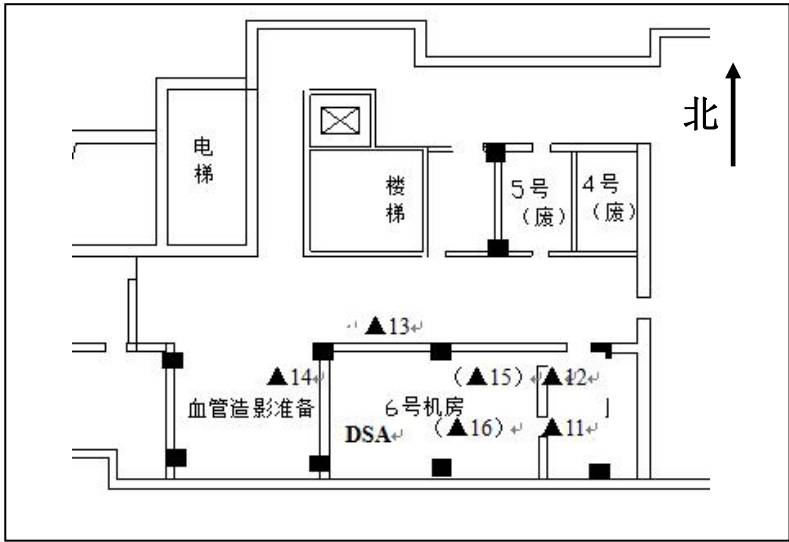


图 11-2 类比项目（DSA 机房）检测点位图

（2）剂量估算

根据表11-9类比监测结果，以及医院提供的资料，在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，各点位处公众及职业人员的年有效剂量由式11-2计算。

DSA 在进行曝光时分为两种减影与透视两种情况，下面就两种情况分别进行辐射环境影响评价。

居留因子参照居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选取，具体数值见表 11-2。

根据医院提供的资料，本项目新建 DSA 机房每台每年最大手术台数为 1000

台，按 1 台手术减影时间取 20s，透视时间取 20 分钟，则新建 DSA 机房减影过程年总曝光时间为 5.56h，透视过程年总曝光时间为 333.33h，年总曝光时间为 338.89h。

本项目 8 台 DSA 机房控制室内固定配置 2 名技师，每台手术配备 2 名手术医生，1 名护士，每组手术医生或护士年手术台数不大于 250 台，则透视过程年最大曝光时间为 83.33h。

①控制室职业剂量估算

由上表 11-9 可知，控制室内辐射剂量率增幅最大处出现在“工作人员出入口 30cm 处”类比监测点位，辐射剂量率增幅（扣除本底）为 2nGy/h。控制室内工作人员身体年受照的总时间为 338.89h，居留因子 T 取 1，使用因子取 1，根据式 11-2 计算得：控制室内辐射工作人员身体受照的年有效剂量最大为 $2\text{nSv/h} \times 338.89\text{h} = 0.00068\text{mSv}$ 。由于本项目 8 台 DSA 机房存在介入中心的 6 台 DSA 同时开机的情况，因此控制室内辐射工作人员身体受照的年有效剂量最大为 0.0041mSv。

②机房内职业剂量估算

医生与护士在机房内直接对病人进行手术操作，在近距离操作，因此 X-γ 辐射剂量率较高，由上表 11-9 可知，医护人员在机房内手术操作位所受的辐射剂量率（扣除本底）为 3989.6nGy/h。

屏蔽透射因子参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 的 C.1.2 中式（C.1）及表 C.2 的相关参数进行计算，公式如下：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{（式 11-4）}$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

X —屏蔽材料铅当量厚度，mm；

α 、 β 、 γ —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，表中无铅在 87kV 条件下的拟合参数，故严格按 90kV 选取： $\alpha=3.067$ ， $\beta=18.83$ ， $\gamma=0.7726$

考虑防护铅衣（0.5mmPb）的情况下，透视模式下（90kV）铅对 X 射线的屏

蔽透射因子为 0.025，则手术工作人员所受的辐射剂量率为 $3989.6 \times 0.025 = 99.74 \text{ nGy/h}$ 。手术室透视过程年总曝光时间为 333.33h，每组手术医生和护士身体年受照的总时间为 83.33h，居留因子 T 取 1，使用因子取 1，根据式 11-2 计算得：机房内介入医护人员医生受照的年有效剂量最大为 $99.74 \text{ nGy/h} \times 83.33 \text{ h} = 0.0083 \text{ mSv}$ 。

③公众剂量估算

本项目的公众人员主要有机房周围的医务人员、患者、家属。对于机房周围 50m 范围内公众，本评价按照最不利的与机房相邻用房进行核算。对机房外（包括楼上楼下的区域）公众影响的辐射剂量率增幅最大处出现在“病人出入门 30cm 处”类比监测点位，其辐射剂量率增幅为 21.7 nGy/h 。

表11-10 公众年有效剂量估算结果

场所	关注点位置描述	辐射剂量率 增幅	年工作时 间 t	居留因 子 T	距离	年有效剂量
		nGy/h	h	/	m	mSv
DSA 机房	机房周边公众	21.7	338.89	1	紧邻	0.007

公众人员受照的有效剂量最大为 0.007 mSv/a ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众要求的剂量限值 1 mSv/a 和目标管理约束值 0.1 mSv/a 的要求。

11.3 核医学科三废环境影响分析

（一）放射性废水

本项目核医学科产生的放射性废液的主要来源：①工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时产生的放射性废水；②清洗受到污染的注射器容器、铅防护套等辅助防护用品产生的放射性废水；③受检者的冲洗排便用水、呕吐物。本项目在正常工况下基本不产生废水。

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入化粪池，当化粪池内液面达到设定高度时，自动控制系统将化粪池内放射性废水用水泵排至衰变池。衰变达标后的废水排入医院污水处理系统。本项目含 ^{131}I 的放射性废水统一排至拟设置于手术楼东北角室外地下的 ^{131}I 专用衰变池，显像诊断产生的放射性废水统一排至拟设置于手术楼东北角室外地下的显像诊断衰变池， ^{131}I 专用衰变池每个有效容积为 1.5 m^3 ，共设置 3 个体积相同的并联衰变池，

显像诊断衰变池每个有效容积为 10m^3 ，共设置 3 个体积相同的并联衰变池，均交替使用。在衰变池排放出口设置自动取样测量系统，可自动监测废水辐射剂量率和废水中核素比活度，任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后（排放前应委托有资质的单位，监测指标为：总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ ），方可排入医院污水处理系统。医院应根据监测数据结果制定排水计划，可定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度，并存档保存。

根据医院提供的资料，本项目拟建核医学科放射性废水产生量估算如下：

核医学科最大工作量为： ^{18}F 显像检查预计最大工作量为 30 人（次）/天， ^{68}Ga 显像检查 3 人（次）/天；每周工作 5 天， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查预计最大工作量为 30 人（次）/天， ^{111}In 显像检查 3 人（次）/天，每周工作 5 天，则每周共计 330 人（次），参考《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），门诊患者每人每次用水定额取 10L，废水排污系数取 0.8，则患者废水产生量为 $0.53\text{m}^3/\text{d}$ 。辐射工作人员每日去污共产生废水 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ ；核医学科每日清洗废水按 $0.1\text{L}/\text{m}^2$ 计，核医学科工作场所面积约 500m^2 ，清洗废水产生量为 $0.05\text{m}^3/\text{d}$ 。则核医学科废水产生量为 $0.68\text{m}^3/\text{d}$ ， $170\text{m}^3/\text{a}$ 。平均每天产生量约 0.47m^3 （以 365 天计）。注满一个衰变池约 21 天。本项目三个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $20\text{m}^3 / 0.47\text{m}^3 \approx 42$ 天（即为第三个衰变池注满的时间），即可存放约 42 天。本项目核医学科产生的放射性废水可以在衰变池内暂存 42 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.3.3.1 中规定的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（ ^{18}F 半衰期为 1.83h、 ^{68}Ga 半衰期为 68.3min、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半衰期为 6.02h），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（ ^{111}In 半衰期为 2.8d）的要求，监测结果经监管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

^{131}I 甲亢治疗 1 人（次）/天，一周产生的总废水量约为 0.04m^3 ，一年约 2m^3 。平均每天产生量约 0.005m^3 （以 365 天计）。注满一个衰变池约 300 天。本项目三个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $3\text{m}^3 / 0.005\text{m}^3 = 600$ 天（即为第三个衰变池注满的时间），即可存放约 600 天。本项目含 ^{131}I 的放射性废水可以在衰变池内暂存 600 天， ^{131}I 半衰

由 GB18871-2002 附录 B 的 B1.3.4 和 B1.3.5 可知, 放射性核素 ALImin 采用下式计算:

$$AL_{\min} = DL/E_j \dots\dots\dots (\text{式 } 11-5)$$

DL 表示职业人员接触限值, 取 20mSv/a ;

E_j 表示 GB18871-2002 表 B3 工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。

本项目核医学科工作场所放射性废水各核素排放导出限值详见表 11-12，排放情况详见表 11-14。

表11-12废水中各核素排放导出限值

核素	e_j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
^{18}F	9.3×10^{-11}	2.15×10^9	2.15×10^8
^{68}Ga	8.1×10^{-11}	2.47×10^9	2.47×10^8
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.9×10^{-11}	6.90×10^9	6.90×10^8
^{111}In	3.1×10^{-10}	6.45×10^8	6.45×10^7
^{131}I	2.2×10^{-8}	9.1×10^6	9.1×10^5

注：选取主要核素以及半衰期最长的核素进行分析。

表11-13项目放射性废水各核素活度

核素名称	半衰期	日最大用量 (Bq)	体内核素排入废 水比例*	单日衰变池核素最大 排入量 (Bq)
¹⁸ F	1.83h	1.11×10 ¹⁰	20%	2.22×10 ⁹
⁶⁸ Ga	68.3min	1.11×10 ⁹	20%	2.22×10 ⁸
^{99m} Tc	6.02h	2.78×10 ¹⁰	20%	5.56×10 ⁹
¹¹¹ In	2.8d	1.11×10 ⁹	20%	2.22×10 ⁸
¹³¹ I	8.04d	3.7×10 ⁸	20%	7.4×10 ⁷

注：*参考相关文献（AAPMTaskGroup108:PETandPET/CTShieldingRequirements），显像诊断核素随人体排出的活度约为使用量的 15%，本项目保守考虑，取 20%。

表11-14废水排放情况表

核素名称	半衰期	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满一池核素活度 (Bq)	衰变时间	暂存时间	衰变后核素排放量 (Bq)	ALImin (Bq)
------	-----	----------------------	------------------	------	------	------------------	----------------

^{18}F	1.83h	2.22×10^9	4.66×10^{10}	42d	>30d	<0.01	2.15×10^8
^{68}Ga	68.3min	2.22×10^8	4.66×10^9	42d		<0.01	2.47×10^8
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	5.56×10^9	1.17×10^{11}	42d		<0.01	6.90×10^8
^{111}In	2.8d	2.22×10^8	4.66×10^9	42d	>28d	1.44×10^5	6.45×10^7
^{131}I	8.04d	7.4×10^7	2.22×10^{10}	600d	>180d	<0.01	9.1×10^5

注：甲测、其余核素治疗病人给药后一般可直接离开，核医学区域停留时间很短，一般不上厕所，故不考虑。

由表 11-14 可知，经衰变池衰变后每次排出的核素总活度<1 ALImin，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）低放废液向环境排放每月排放的总活度不超过 10ALImin，每次排放的活度不超过 1ALImin 的条件。

同时经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后（监测指标为：总 β < 10Bq/L），方可排入医院污水管网，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。医院应根据监测数据结果制定排水计划，可定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度，并存档保存。

上述估算是按偏保守原则进行的，实际活度比估算值要低。因此，拟建的放射性废水处理系统能够满足核医学科的工作需求。

另外，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。

（二）放射性固体废弃物

由污染源分析可知，该项目放射性固体废物主要来源：①放射性药物常规操作、质控、分装、给药过程中产生一些带有微量放射性的注射器、针头、试管、棉花、棉棒、纱布、一次性手套等，以及异常洒落时使用的吸水纸、抹布等；②排风系统置换下来的废活性炭。

根据9.3.1核医学科污染源项分析，核医学科放射性固废年产生量为1000kg。

医院计划在核医学科工作场所设置脚踏式铅桶，废物间设有废物衰变箱，收集的固废放置于衰变箱中，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 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，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并

作为医疗废物进行处理。各核素具体暂存时间见表 11-15。

表11-15各核素暂存时间表

核素名称	半衰期	暂存时间	存放位置	备注
^{18}F	1.83h	>30d	废物暂存间 1#衰变箱	衰变箱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
^{68}Ga	68.3min			
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h			
^{111}In	2.8d	>28d	废物暂存间 2#衰变箱	
^{89}Sr	50.53d	>505d	废物暂存间 3#衰变箱	
^{188}Re	0.7d	>7d	废物暂存间 4#衰变箱	
^{153}Sm	46.5h	>465h	废物暂存间 5#衰变箱	
^{32}P	14.3d	>143d	废物暂存间 6#衰变箱	
^{131}I	8.04d	>180d	废物暂存间 7#衰变箱	

根据9.3.1污染源项析，核医学科排风管道放射性废气排风口废活性炭年产生量为100kg，核医学科废气排放口更换的废活性炭也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于废物箱中，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，待满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.2.3.1规定的要求后可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

衰变池池底部会沉积少量的沉积物，该沉积物每年清运一次，应按照危废处置要求进行处理。

（三）放射性废气

本项目采用竖向风管将核医学科工作场所废气排放至手术楼楼顶，并高出屋脊排放。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，排风口均设活性炭吸附装置，活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于 90%。

所使用的活性炭吸附过滤装置需定期更换（约一年更换一次），更换下来的废活性炭应按放射性固体废物进行处理。

11.4 事故影响分析

11.4.1 核医学科

①由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。医院已设有专门放放射性物品的源库，为杜绝该事故的发生，医院应加强管理，实行双人双锁。

②由于操作不慎，有少量的液态放射性药品溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产

生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

③由于意外事故造成大量的液态放射性药品溅洒，如药剂瓶被打破，造成放射性污染事故。发生这种事故应首先保持镇静，然后用吸附衬垫盖住发生溅洒的物品，以遏制液体流动。关闭门窗，并通知房间里的每一个人走到门口，用脚踢脱鞋子走出房间，但不要走远，关上门，呼叫求助其他人，请他拿来一台表面污染监测仪（留在这个房间里的仪器可能已被污染）测量每个人全身的 β 表面污染，特别是手和脚的测量。如果 β 表面污染大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则应进行去污洗涤，直至小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

11.4.2 射线装置

①工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室，射线装置运行可能产生误照射。

②安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的射线装置机房。

因此，医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。并且，工作人员每次上班时首先要检查防护门上的灯光警示装置是否正常。如果失灵，应立即修理，恢复正常。

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

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及生态环境主管部门的要求，医院应有专门的辐射安全与环境保护管理机构，并制定健全的安全和防护管理规章制度、辐射事故应急措施。

目前医院已成立以应争先为组长的辐射安全与环境保护管理小组（见附件 6），并明确其职责。该管理机构的基本组成涵盖放射性同位素与射线装置的管理与使用等相关部门，基本符合要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院已制定《辐射安全防护和管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《监测方案》、《质量检测方案》、《放射事故报告制度及处理预案》、《放射性废物处理方案》、《放射事故报告制度处理预案》等规章制度。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。并根据本项目特点，对已制定的相关规章制度进行更新和完善。

12.3 辐射检测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 监测计划

（1）年度监测

定期委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

(2) 日常自行监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期至少 1 次/月。

(3) 监测内容和要求

监测依据：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

监测内容：周围剂量当量率、中子剂量当量率、 β 表面放射性污染、放射性废水、放射性固废。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-1 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	自行监测	委托监测
核医学科	周围剂量当量率	控制区四面墙体外、机房防护门处、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1 次/季	1 次/年
	β 表面放射性污染	工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋等	1 次/季	1 次/年
	放射性废水总 β 、总 α	衰变池排放口	排放前（监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。）	1 次/年
	放射性固废表面剂量率，表面污染水平	废物间（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平后排放）	排放前	1 次/年
DSA 机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外 30cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/季	1 次/年
个人剂量监测	个人剂量当量	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	/	1 次/季度

(4) 放射性废水排放

本项目核医学科显像诊断衰变池组内放射性废水需经衰变 10 个半衰期以上，¹³¹I

专用衰变池组内放射性废水需暂存超过 180 天。衰变池内放射性废水暂存时间满足要求后，在开始排放前，应在衰变池排放口取样监测，监测结果满足废水中放射性核素总 β 浓度不超过《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)规定的限值（总 β 小于 10Bq/L）并经审管部门确认或批准后可排入医院污水处理系统，进一步处理后排入市政污水管网。

医院应建立放射性废水排放台账，记录每次废水排放量、排放浓度、排放时间等参数，并存档备查。

（5）放射性废物处理

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，废物包装体外表面的污染控制水平满足 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。装满后及时转送至废物间的衰变箱内贮存，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 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，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。经监测符合清洁解控水平后，经审管部门确认或批准后可按免管废物作为一般医疗固废委托有资质单位（金华莱逸园环保科技有限公司）处置。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。

12.4 竣工环境保护验收

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验

收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过 12 个月。

12.5 辐射工作人员管理

（1）职业健康检查

本项目辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每两年委托有相关资质的单位对辐射工作人员进行职业健康检查，并建立职业健康档案。

（2）辐射工作人员培训

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）、《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号）和《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅浙江省卫生健康委员会，浙环函[2019]248 号），医院应及时组织从事使用 II 类射线装置及非密封放射性物质操作的辐射工作人员参加浙江卫生计生监督微信公众号或生态环境部在线平台的辐射防护与安全培训并考核合格，并按时接受再培训。

（3）个人剂量检测

本项目辐射工作人员应全部配备个人剂量计。监测周期为 1 次/季（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测），并建立个人剂量档案。

医院应做到以下几个方面：

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应终生保存。医院应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相

关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

医院应做到以下几个方面：

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应终生保存。浙大二院应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

本项目建成后核医学科和介入治疗暂不新增辐射工作人员。现有 35 名辐射工作人员名单见表 12-1。

表 12-1 核医学科和介入治疗现有辐射工作人员名单

序号	姓名	科室	工作岗位	职业健康体检		体检结果	放射防护培训	个人剂量计
				是（√）	否（×）			
1	易**	核医学	副主任医师	√		正常	合格	已佩戴
2	李**	核医学	主治医师	√		正常	合格	已佩戴
3	金**	核医学	主管技师	√		正常	合格	已佩戴
4	王*	核医学	技师	√		正常	合格	已佩戴
5	任**	核医学	护士	√		正常	合格	已佩戴
6	陈*	核医学	护士	√		正常	合格	已佩戴
7	陈*	核医学	主治医师	√		正常	合格	已佩戴
8	楼**	核医学	主治医师	√		正常	合格	已佩戴
9	韦**	核医学	技师	√		正常	合格	已佩戴
10	岳**	核医学	副主任医师	√		正常	合格	已佩戴
11	何**	核医学	护士	√		正常	合格	已佩戴
12	卢*	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
13	徐**	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
14	金**	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
15	彭**	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴

16	杜**	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
17	斯**	介入中心	副主任医师	√		正常	合格	已佩戴
18	楼**	介入中心	副主任医师	√		正常	合格	已佩戴
19	王**	介入中心	技师	√		正常	合格	已佩戴
20	斯**	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
21	马*	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
22	王**	介入中心	副主任医师	√		正常	合格	已佩戴
23	吕**	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
24	古**	介入中心	护士	√		正常	合格	已佩戴
25	李**	介入中心	护士	√		正常	合格	已佩戴
26	楼**	介入中心	护士	√		正常	合格	已佩戴
27	王**	介入中心	主治医师	√		正常	合格	已佩戴
28	周**	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
29	俞**	介入中心	护士	√		正常	合格	已佩戴
30	杨**	介入中心	副主任医师	√		正常	合格	已佩戴
31	吴**	介入中心	技师	√		正常	合格	已佩戴
32	楼**	介入中心	技师	√		正常	合格	已佩戴
33	张**	介入中心	主治医师	√		正常	合格	已佩戴
34	何*	介入中心	主任医师	√		正常	合格	已佩戴
35	葛*	介入中心	主治医师	√		正常	合格	已佩戴

12.6 辐射事故应急

根据本项目特点：使用放射性同位素和Ⅱ、Ⅲ类射线装置，并结合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条至四十五条之规定，辐射事故应急预案应包括下列内容：

- （1）应急机构和职责分工。
- （2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备。
- （3）辐射事故分级与应急响应措施。
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门。

县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后,应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。发生特别重大辐射事故（是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡）和重大辐射事故（是指Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾）后，事故发生地省、自治区、直辖市人民政府和国务院有关部门应当在4小时内报告国务院；特殊情况下，事故发生地人民政府及其有关部门可以直接向国务院报告，并同时报告上级人民政府及其有关部门。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

（5）生态环境、卫生、公安部门的联系部门和电话。

1）生态环境主管部门负责辐射事故的应急响应、调查处理和定性定级工作，协助公安部门监控追缴丢失、被盗的放射源，联系电话：12345；

2）公安部门负责丢失、被盗放射源的立案侦查和追缴，联系电话：110；

3）卫生主管部门负责辐射事故的医疗应急，联系电话：12345。

另外，发生辐射事故的单位应当立即将可能受到辐射伤害的人员送至当地卫生主管部门指定的医院或者有条件救治辐射损伤病人的医院，进行检查和治疗，或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。

表 13 结论与建议

13.1 结论 13.1.1 辐射安全与防护分析结论 13.1.1.1 辐射安全防护措施结论 ①本项目核医学科、介入中心、中心手术区各辐射工作场所均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、γ 射线、β 射线等的辐射影响。 ②本项目核医学科拟设置碘自动分装仪、防护注射窗、手套箱、移动式铅屏风、脚踏式放射性废物桶、放射性废（储）物箱、表面污染监测仪、X-γ 电离巡检仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具，拟配备铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射。 ③本项目核医学贮源库防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。 ④本项目射线装置拟配备有辐射安全装置、安全联锁装置、紧急停止开关、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等安全措施。 ⑤本项目核医学拟设置放射性废水的专用管线及衰变池、放射性废气专用管线及活性炭吸附过滤装置、放射性废物的专用铅收集桶等，射线装置机房的通风均能满足相关标准规范的要求。 ⑥辐射工作人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品，辐射工作人员均拟配备个人剂量计。控制区拟设置相应的警示标志，限制无关人员进入。 综上所述，医院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。 13.1.1.2 辐射安全管理结论 医院已成立辐射安全管理小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；该院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量
--

监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.2 环境影响分析结论

13.1.2.1 辐射污染因子分析

本项目主要污染因子为：X 射线、 γ 射线、中子、 β 表面污染以及放射性废水和固废。

13.1.2.2 辐射环境影响分析

（1）辐射影响分析结论

经模式预测，在正常工况下，本项目核医学科工作场所监督区边界外、DSA 机房各侧墙体及防护门外 30cm 处剂量率均小于目标控制值，对周围环境影响较小；本项目所致工作人员和公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本次评价提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a。

（2）DSA 和 PET-CT、SPECT-CT 配套用 CT 射线装置产污影响分析

DSA 和 PET-CT、SPECT-CT 配套用 CT 射线装置在曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物经动力排风系统排入大气环境后，经自然分解和稀释，可达标排放，对周围环境影响较小。

13.1.2.3 三废环境影响分析

放射性废水排入衰变池中，待暂存时间超十个半衰期后排放至医院污水处理站，处理达标后纳入市政污水管网，对周围水环境影响很小。

核医学放射性固废采用专门的脚踏式铅桶收集后在废物间暂存，待储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理，对周围环境影响较小。

废气处理更换的废活性炭按放射性废物处置，待储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

核医学科产生的放射性废气排至主楼楼顶排放，排放口高出屋脊，排放口均设活性炭吸附装置，放射性废气吸附处理后排放。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策分析结论

根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目新增 DSA 属于第十三项“医药”中第五条“新型医用诊断医疗仪器设备和试剂、**数字化医学影像设备**，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策；本项目新增核医学科、DSA 不属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中限制类和淘汰类产业，为允许类，符合国家现行产业政策。

(2) 实践正当性分析结论

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

(3) 相关规划及选址合理性结论

本项目为医院核技术利用项目，隶属于医疗服务项目，属于医疗服务设施建设，可带动区域高端医疗产业的发展，也是医疗的示范产业基地。本项目拟建辐射工作场所边界外 50m 范围无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理。

(4) 总平面布置的合理性分析

本项目核医学科工作场所布局能够保证工作程序沿着各功能房间单向开展，最大限度的减少人员的流动性，有助于实施工作流程，避免人员交叉污染，患者出口安排在手术楼东北角，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域，方便患者直接离开；在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口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；在高活室的入口处设计卫生通过间，进行污染检测，满足《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，本项目工作场所布局合理。

介入中心位于手术楼一层，中心手术 B 区和 C 区位于手术楼三层。各射线装置机房四周、地面下方及顶棚上方避开妇产科、儿科等敏感科室。项目选址基本符合辐射工作场所的选址原则，选址合理。

综上所述，本项目辐射工作场所位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全防护的角度分析，其总平面布置是合理的。

13.1.4 结论

东阳人民医院核技术利用项目在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，该医院将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

13.2 建议和承诺

- (1) 本项目布局、设计、源项发生重大改变时要另行评价。
- (2) 施工阶段，建设单位应对辐射防护设施的工程质量进行检查，以保证设计要求。
- (3) 医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。
- (4) 医院应在本项目内容投入运行后按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）的要求自行验收。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公章 年 月 日
审批意见：	
经办人	公章 年 月 日