

核技术利用建设项目

莆田学院附属医院核医学科
及 1 台 DSA 机项目

环境影响报告表
(公示稿)

莆田学院附属医院（莆田市第二医院）

二〇二五年十一月



核技术利用建设项目

**莆田学院附属医院核医学科
及 1 台 DSA 机项目**

环境影响报告表



建设单位名称：莆田学院附属医院（莆田市第二医院）

通讯地址：福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号

邮政编码：351106

目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	20
表 3	非密封放射性物质	20
表 4	射线装置	21
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	22
表 6	评价依据	24
表 7	保护目标与评价标准	26
表 8	环境质量和辐射现状	47
表 9	项目工程分析与源项	56
表 10	辐射安全与防护	72
表 11	环境影响分析	95
表 12	辐射安全管理	98
表 13	结论与建议	148
表 14	审批	153

附件 1 委托书

附件 2 辐射安全许可证

附件 3 关于成立辐射安全与环境保护管理领导小组的通知

附件 4 莆田学院附属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 现有辐射工作人员名单

附件 7 外照射个人剂量监测报告（部分）

附件 8 辐射环境检测报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称		莆田学院附属医院核医学科及 1 台 DSA 机项目			
建设单位		莆田学院附属医院			
联系人		林虹	联系电话	15060339316	
注册地址		福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号			
项目建设地点		福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号莆田学院附属医院新院区			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		3131.23	项目环保投资 (万元)	1045.5	投资比例 33.39%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (平方米) 核医学科: 550 DSA: 57.1
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		
	其它	/			

1.1 建设单位情况

莆田学院附属医院（莆田市第二医院），后文简称“莆田学院附属医院”，是福建省最早的医院之一，创建于 1896 年（清光绪廿二年），前身系英国教会创办的“兴化圣教医院”，1912 年改称“莆田圣路加医院”，并附设“圣路加高级护士助产职业学校”。1953 年改名“莆田医院”，2002 年升格更名为“莆田市第二医院，”2003 年升格易名为“莆田学院附属医院”，2009 年挂牌“南方医科大学附属莆田医院”（非

直属）。现为国家爱婴医院、卫生部国际紧急救援中心网络医院、全国综合医院中医药工作示范单位、全国改善医疗服务示范单位、福建省道路交通事故伤员救治定点医院，福建省城镇职工医疗保险定点医院，福建省医保联网医院，是一所集医疗、教学、科研、急救、预防、康复、保健为一体的大型综合性三级甲等医院。

医院科室齐全，实力雄厚。现有职工 2600 多人，设立 74 个临床、医技科室，40 个病区，32 个专科专病门诊。医院分两个院区，分别为梅峰院区（老院区）和延寿院区（新院区）。梅峰院区位于莆田市荔城区梅园东路 181 号，延寿院区位于莆田市荔城区东圳东路 999 号。梅峰院区设急诊科、口腔科、儿童重症医学等科室，拥有 CT、DR、牙片机等设备；延寿院区设核医学科、介入科、放疗科、医学影像科、口腔科等科室，拥有 SPECT 机房、DSA、直线加速器、CT、DR、口腔 CT、胃肠机等设备。

1.2 项目由来与建设内容

莆田学院附属医院根据医院整体发展规划，在莆田市荔城区东圳东路 999 号新院区西南侧建设一座二层医疗辅助楼（包含 1 层地下室），已完成环境影响登记表（备案号：202535030400000051）。为进一步提升医疗服务质量与服务水平，更好地满足患者的就医需要，医院拟将医疗辅助楼改名为核医学科大楼，并在一层新建核医学科项目，用于开展医疗、教学及科研相关工作；并在急重症诊疗中心大楼四层西北侧新建 DSA2 机房及其配套区域。拟使用 1 台医用数字减影血管造影机（以下简称“DSA”），DSA（型号：uAngio AVIVACE，主要参数：最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）用于放射诊断和介入治疗。

本项目主要建设内容：建设 PET-CT 机房和配套用房，配置 1 台 PET-CT（为 III 类射线装置），使用 ^{18}F 开展显像诊断工作；新增 ^{131}I 用于甲功测定、甲癌治疗（日等效最大操作量合计 $2.22\text{E}+7\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所）并在负 1 层设置 2 套槽式放射性废液衰变池分别用于处理 ^{18}F 废水和 ^{131}I 废水；新增 1 台 DSA 用于放射诊断和介入治疗。

项目新增非密封放射性物质以及射线装置使用情况见表 1.2.1～1.2.2。

表 1.2.1 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)	场所级别	用途	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	7.4×10^9	7.4×10^6	1.85×10^{11}	乙级（合计 3.34×10^9 ）	PET-CT 显像	核医学大楼一层核医学科	分装室 1# 手套箱内
2	^{131}I	1.85×10^5	1.85×10^4	2.22×10^7		甲功测		甲功室储

						定		源箱内
3	^{131}I	3.33×10^{10}	3.33×10^9	1.6×10^{12}		甲癌治疗		分装室 2# 手套箱内

表 1.2.2 本项目新增射线装置情况一览表

序号	设备名称	数量 (台)	型号	主要参数	类别	设备位置
1	DSA	1	uAngio AVIVACE	最大管电压 125kV 最大管电流 1000mA	II 类	急重症诊疗中心大楼 四层 DSA2 机房
2	PET-CT	1	待定	最大管电压 140kV 最大管电流 1000mA	III 类	核医学科大楼一层 PET-CT 机房

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。莆田学院附属医院于 2025 年 11 月委托福建省金皇环保科技有限公司对莆田学院附属医院核医学科及 1 台 DSA 机项目进行环境影响评价工作。

我公司接受委托后，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《莆田学院附属医院核医学科及 1 台 DSA 机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 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[00139]”（见附件 2）。

莆田学院附属医院共有 2 个院区，共涉及 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，30 台射线装置，其中：

（1）延寿院区（新院区）：使用 1 处乙级非密封放射性物质工作场所，使用 24 台射线装置，其中包括 4 台 II 类射线装置、20 台 III 类射线装置；

（2）梅峰院区（旧院区）：使用 6 台 III 类射线装置，不涉及 II 类射线装置和非密封放射性物质工作场所。

医院现有核技术利用项目均已履行环评及竣工环保验收手续，相关情况见表 1.3.1~表 1.3.3。

表 1.3.1 新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	工作场所	环评/验收情况
1	Tc-99m	4.44×10^7	5.55×10^{12}	乙	住院部一层核医学科 PET-CT 机房	环评批复：闽环辐评(2013) 41 号 验收批复：闽环辐验(2016) 2 号
2	Sr-89	7.40×10^6	1.85×10^{11}			
3	I-131	3.33×10^9	1.67×10^{12}			
4	I-125 (粒子源)	4.07×10^7	4.80×10^{11}			
5	I-125	1.71×10^5	4.80×10^7			
6	F-18	1.85×10^7	4.63×10^{12}			
7	C-14	9.50×10^3	2.38×10^6			

表 1.3.2 新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	环评/验收情况
1	直线加速器	Precise	II 类射线装置	1	住院部地下一层直线加速器机房	环评批复：闽环辐评(2013) 41 号 验收批复：闽环辐验(2016) 2 号
2	血管造影 X 射线装置	AXIOM Artis dFA		1	住院部一层介入导管室机房 1	
3	血管造影 X 射线装置	Artis Q Ceiling		1	住院部一层介入导管室机房 2	环评批复：闽环辐评(2025) 34 号 正在建设
4	血管造影 X 射线装置	Artis ZeeIII ceiling		1	住院部一层介入导管室机房 3	
5	X 射线计算机断层摄影设备	Incisive CT	III	1	肺科大楼一楼 CT 机房	备案号： 202335030400000013
6	移动 DR	uDR 380i	III	1	肺科大楼病房	备案号： 202535030400000018
7	方舱 CT	uCT710	III	1	省级区域医疗中心一期急重症诊疗大楼项目一期工程一楼 CT 室	备案号： 202535030400000019
8	牙科 X 射线机	RAY98 (M)	III	1	延寿院区门诊二层口腔科牙科 X 射线机机房	备案号： 202535030400000017
9	口腔 CT	SS-X10010DPlus	III	1	延寿院区门诊二层口腔科口腔 CT1 机房	
10	双能 X 射线骨科密度仪	Discovery Wi	III	1	住院部一层核医学科骨科密度仪机房 1	
11	车载 CT	uCT528	III	1	移动车载 CT 机房	备案号： 202235030400000021
12	移动式 C 型臂机	ARCADI S Orbic	III	1	住院部二层骨科手术室 2	

13	移动式 C 型臂机	Ziehm Solo FD	III	1	住院部二层骨科手术室 8	
14	移动式 C 型臂机	Ziehm solo	III	1	住院部二层骨科手术室 9	
15	移动式数字化 X 射线成像系统	uDR370i	III	1	住院部二层重症医学科	
16	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	mDX-13STTB1 A	III	1	延寿院区门诊二层口腔科口腔 CT2 机房	备案号： 202535030400000017
17	SPECT/CT	Infinia Hawkey 4	III	1	住院部一层核医学科 SPECT 机房	环评批复：闽环辐评（2013）41 号 验收批复：闽环辐验（2016）2 号
18	数字化 X 射线摄影系统	VX3733-SYS	III	1	医技楼一层医学影像 DR1 机房	
19	数字化 X 射线摄影机（DR）	Digital Diagonst	III	1	医技楼一层医学影像 DR2 机房	
20	CT	GE Lightspeed	III	1	医技楼一层医学影像科 CT1 机房	
21	CT	SOMATOM Definition Flash	III	1	医技楼一层医学影像科 CT2 机房	
22	CT	Somatom sensation16	III	1	医技楼一层医学影像科 CT7 机房	
23	乳腺钼靶机	Siemen MammoMAT Inspiration	III	1	医技楼一层医学影像科乳腺钼靶机机房	
24	数字胃肠机	GMM OPERA TSOCS	III	1	医技楼一层医学影像科数字胃肠机机房	

表 1.3.3 旧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	环评/验收情况
1	X 射线计算机体层摄影设备	Optima CT670	III	1	旧院门诊楼急诊科旁 CT 机房	备案号： 202035030400000104
2	小牙片	ORTHOP HOSXG 5 DS Ceph	III	1	梅峰院区门诊四层口腔科 X 射线机房	备案号： 202035030400000135
3	全景牙片机	ORTHOP HOSXG	III	1	梅峰院区门诊四层口腔科全景牙科机机房	
4	移动 DR	uDR 380i	III	1	旧院住院病房 8 楼新生儿科	

5	DR1	Digital diagnost systems VR	III	1	旧院综合医技楼二层 DR1 机房
6	胃肠机	Uni-vision	III	1	旧院综合医技楼二层 胃肠机房

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

莆田学院附属医院成立了以林伟为主任的辐射安全与环境保护管理领导小组，制定了《辐射安全管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射设备操作规程》《辐射设备监测维修制度》《辐射监测制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射防护和安全保卫制度》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

①截止 2025 年 11 月，莆田学院附属医院辐射工作人员为 134 人，其中 74 人已参加辐射安全与防护培训，并取得合格证书，60 人通过院内组织的自主培训考核（辐射工作人员名单见附件 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，并委托有资质的监测单位承担个人剂量监测工作，监测频率为 1 次/季度，每季度的个人剂量检测结果均存档备案。根据有资质的监测单位提供的 2024 年第三季度~2025 年第二季度放射工作人员职业外照射个人剂量检测报告，辐射工作人员个人剂量监测年统计结果均低于《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医院为现有放射工作人员建立职业健康监护档案，间隔不超过两年组织辐射工作人员进行职业健康体检，根据体检结果对受检者从事放射工作提出适任性意见，个人体检报告均存档备案。医院委托有资质的公司对医院辐射工作人员进行职业健康体检，对于体检异常人员，均暂时脱离放射工作并进行复查，根据复查结果的处理意见确认人员是否可继续从事原放射工作，根据医院 2024 年 10 月及 2025 年 9 月的职业健康体检报告，医院现有辐射工作人员均可继续原放射工作。

（3）辐射监测仪器和防护用品配备情况

莆田学院附属医院为现有医护人员和受检者配备了必要的个人防护用品，其中铅围裙 41 件、铅帽 24 件、铅颈套 41 件、铅眼镜 21 件、铅屏风 5 件，射线装置的工作人员均佩戴了个人剂量计，为核医学科等场所配备必要的监测仪器，配备了放射性表

面污染检测仪 3 台、放射性活度测量仪 1 台、巡测仪 1 台。

（4）辐射工作场所监测情况

在设备正常运行状态下，医院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 2024 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。

（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 2024 年度评估报告；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，莆田学院附属医院核医学科和使用的射线装置均正常工作，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

本项目位于福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号莆田学院附属医院新院区，拟新建核医学大楼，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

莆田学院附属医院拟建核医学科位于新院区西部的核医学科大楼一层，其北侧为院内道路、住院楼，西侧为区域医疗中心一期停车场入口和院内道路，南侧为院内景观公园，东侧为院内道路、住院楼。

本项目 DSA 机拟建于新院区东北部的急重症诊疗中心大楼四层 DSA2 机房，急重症诊疗中心大楼位于院区东北部，北侧为荔城区第一实验小学，西侧为肺科病房大楼，南侧为住院部，东侧为延寿北路；DSA2 机房上方为软水处理区，下方为 EICU。东侧为操作室，西侧为过道，南侧为设备间、麻醉复苏室，北侧为库房。

本项目评价范围见图 1.5-2，核医学大楼平面图见图 1.5-3~1.5-5，急重症诊疗中心大楼局部平面图见图 1.5-6~1.5-8，现场照片见图 1.5-9。

1.6 项目选址及合理性分析

本项目核医学科位于新建一栋 2 层的核医学大楼，所涉及的 2 套槽式放射性废液衰变池设置于核医学大楼负一层的衰变池间内。项目核医学科位置独立，为独栋建筑，

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，核医学科工作场所的排风口均高出核医学大楼的屋脊，已尽可能远离周边高层建筑，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的选址要求。

本项目 DSA 机房拟设于急重症诊疗中心大楼四层西北侧 DSA2 机房，工作场所相对独立，有单独的固定机房，与周边非放射性工作场所隔开，周边人员停留时间较短，DSA 机房大小、屏蔽物质厚度等符合相关标准要求；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。对机房外的公众和其他工作人员的辐射影响较小。

本项目辐射工作场所四周人员停留较少，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。

另外，查“莆田市生态环境局关于发布莆田市 2023 年生态环境分区管控动态更新成果的通知”，本项目位于荔城区重点管控区（ZH35030420004），在空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控以及资源开发效率要求均符合环境管控单元准入要求。

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。莆田学院附属医院核医学科的配置，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；对于 DSA 机项目，介入治疗技术具有准确、安全、高效、创伤小、并发症少等优点，对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害。

本项目核医学科及 1 台 DSA 机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》（2024 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“5、……高性能医学影像设备……”以及“三十七、卫生健康”中的“1、……医疗卫生服务设施建设……”项目，因此莆田学院附属医院核医学科及 1 台 DSA 机项目符合国家产业政策。



图 1.5-2 本项目评价范围及保护目标图

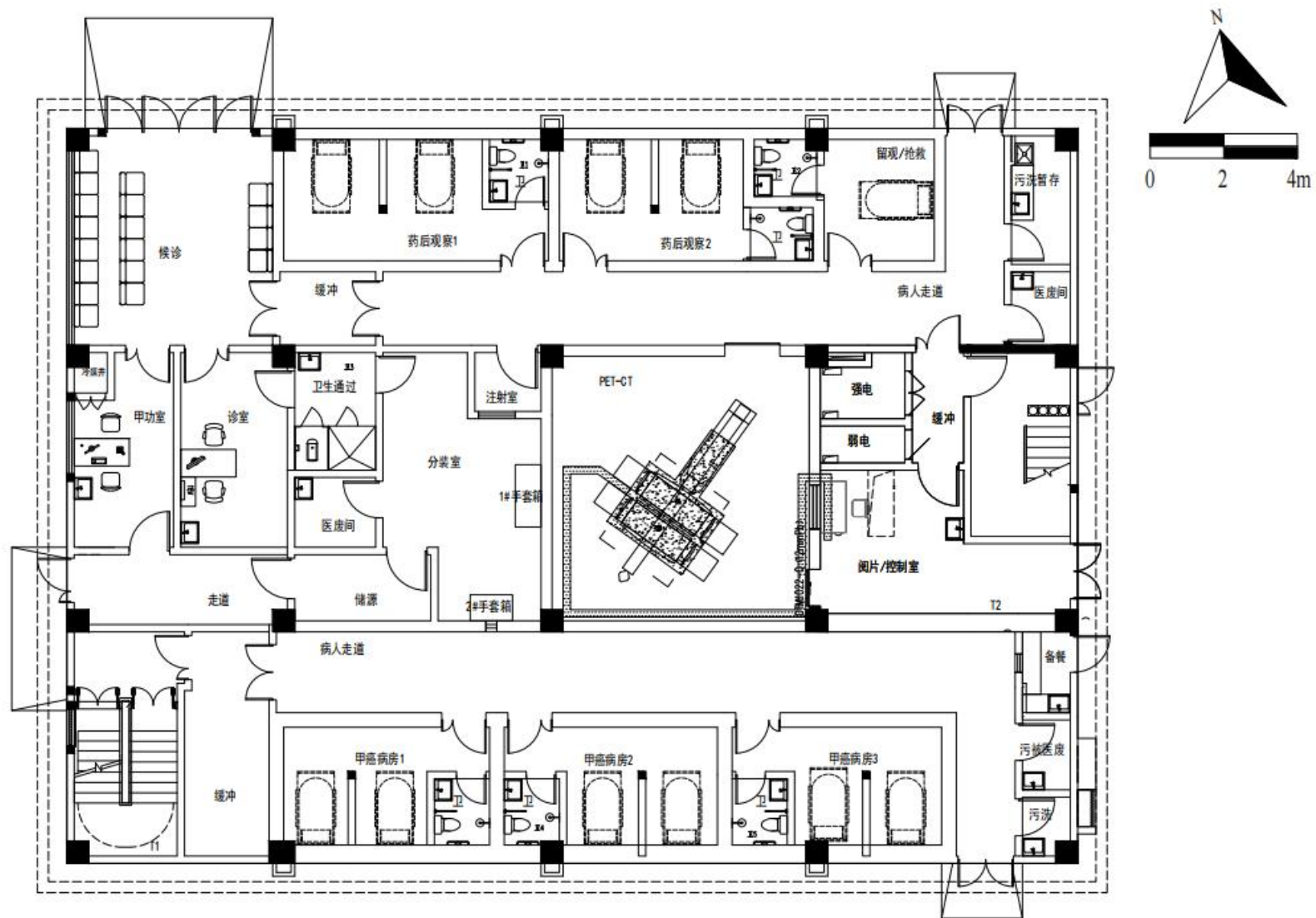


图 1.5-3 莆田学院附属医院核医学科楼一层平面图（本项目核医学科范围）

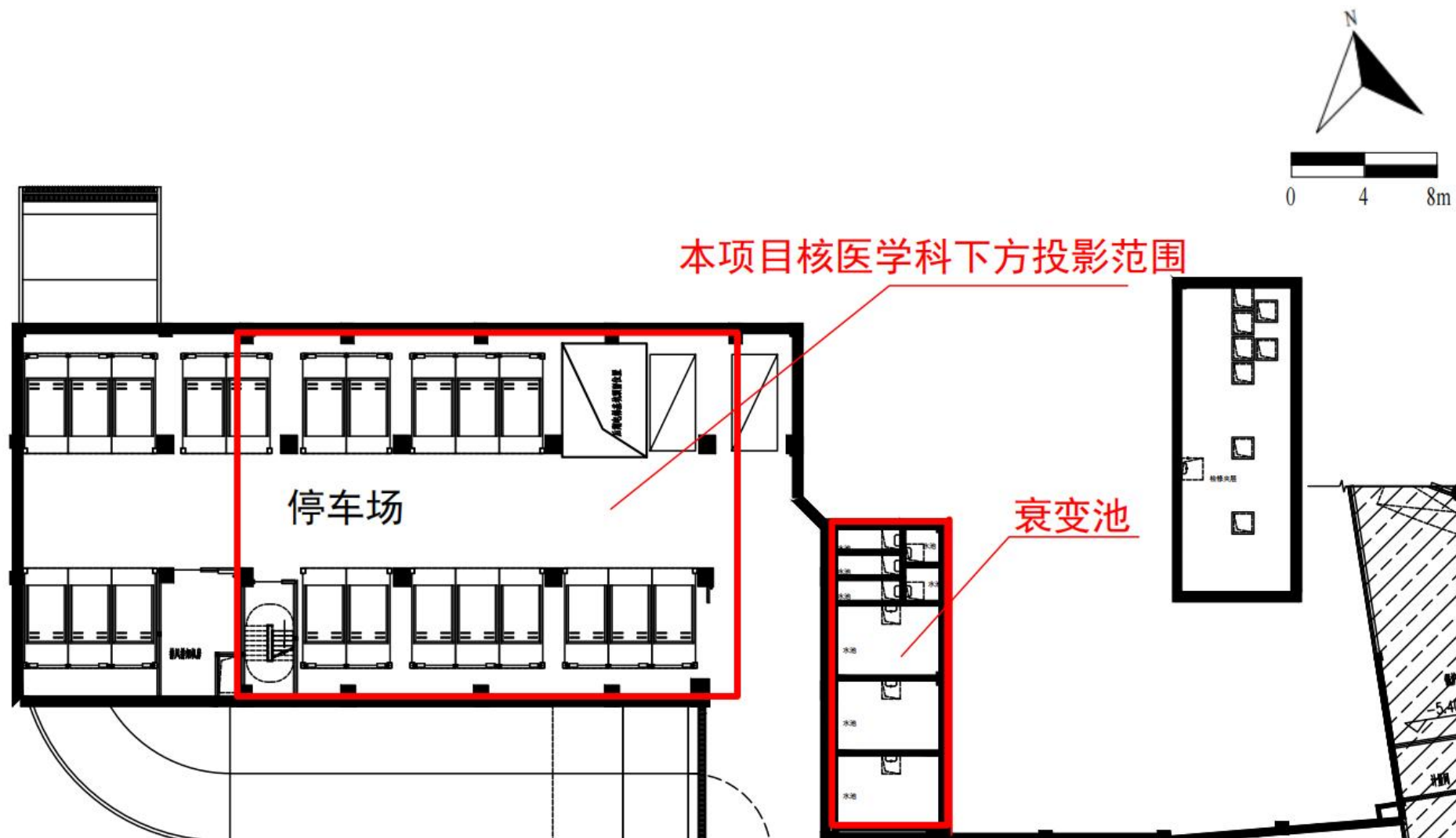


图 1.5-4 莆田学院附属医院核医学科楼负一层局部平面图

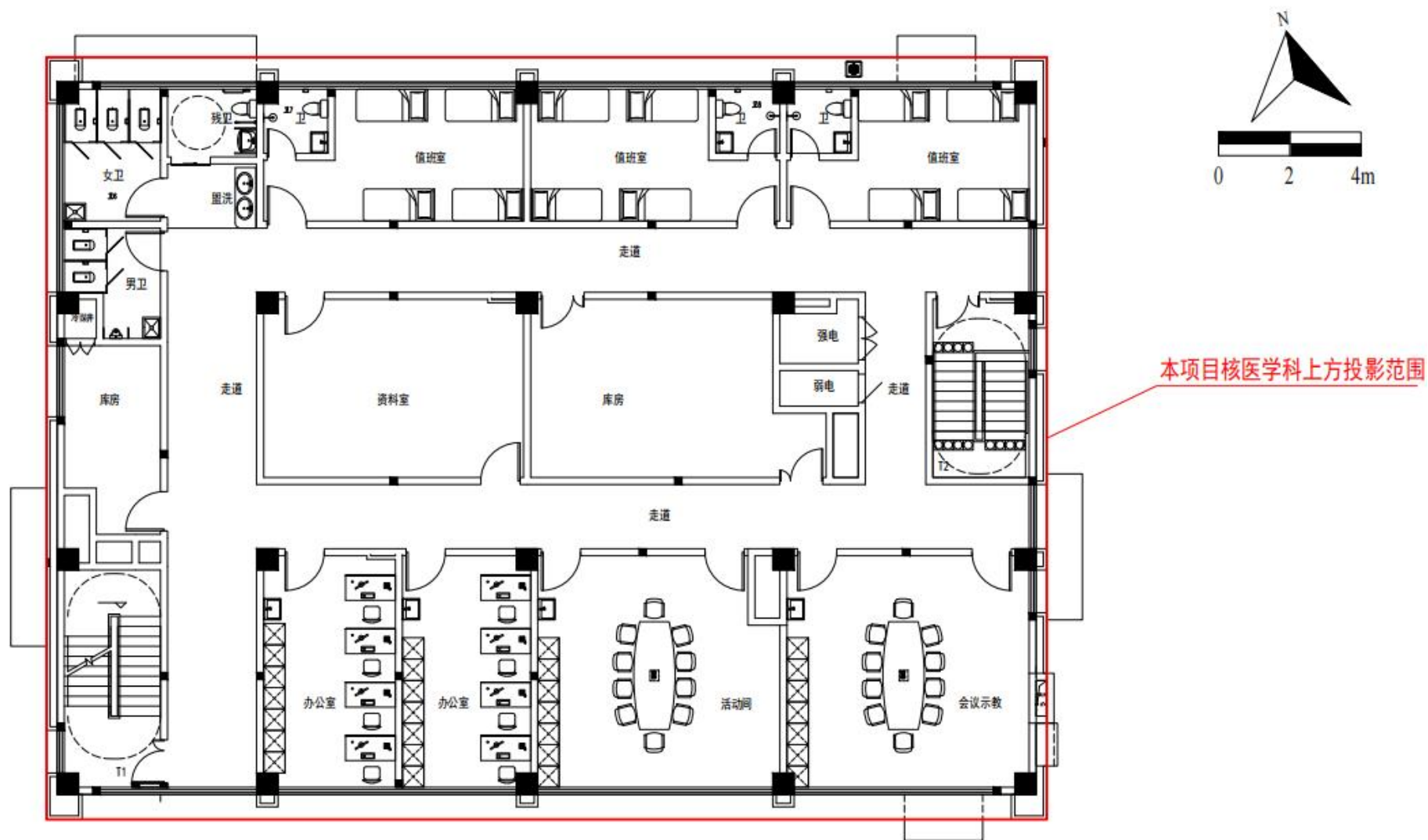


图 1.5-5 莆田学院附属医院核医学科楼二层平面图

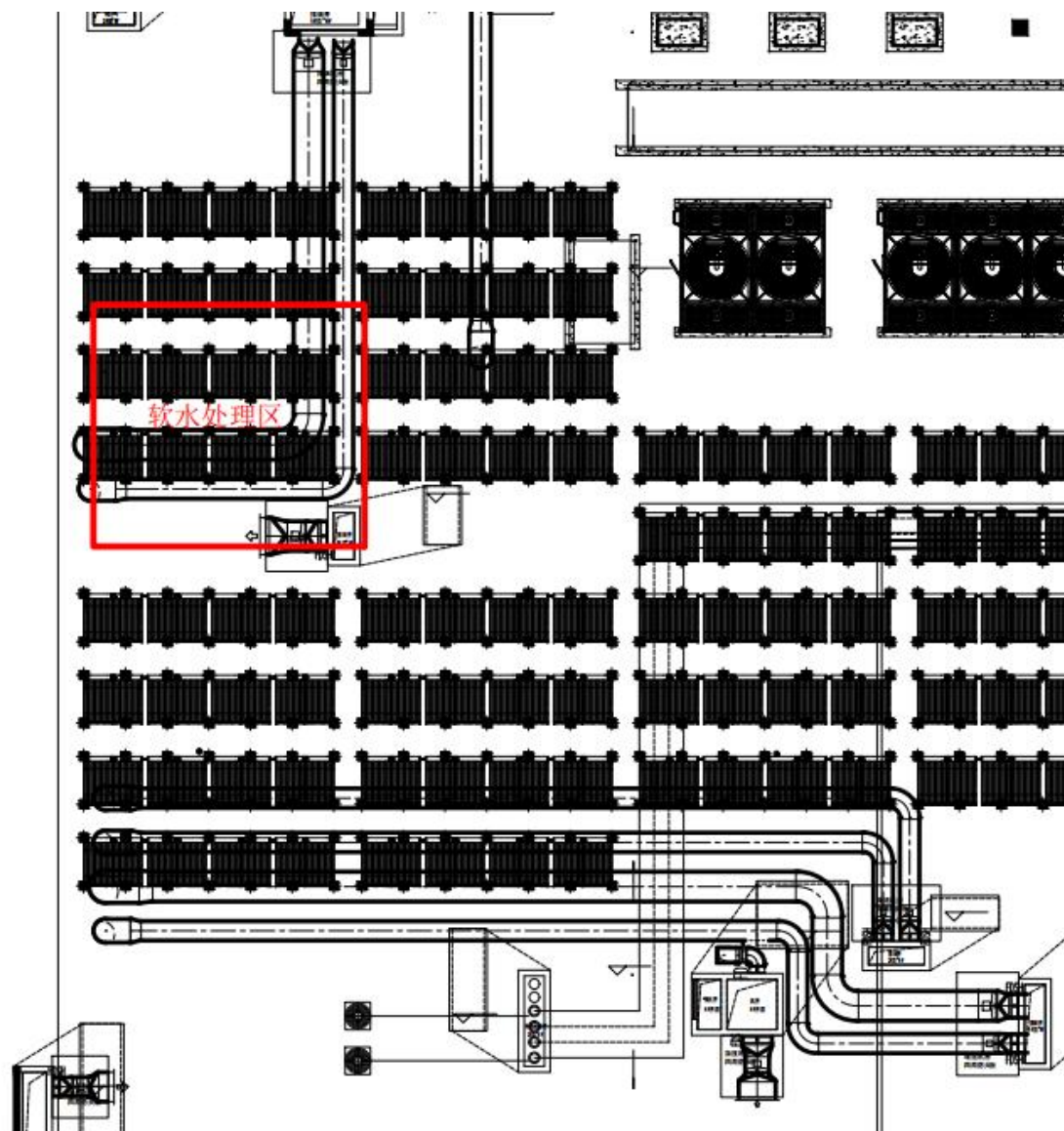
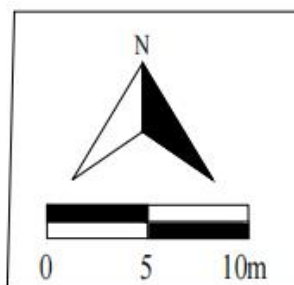
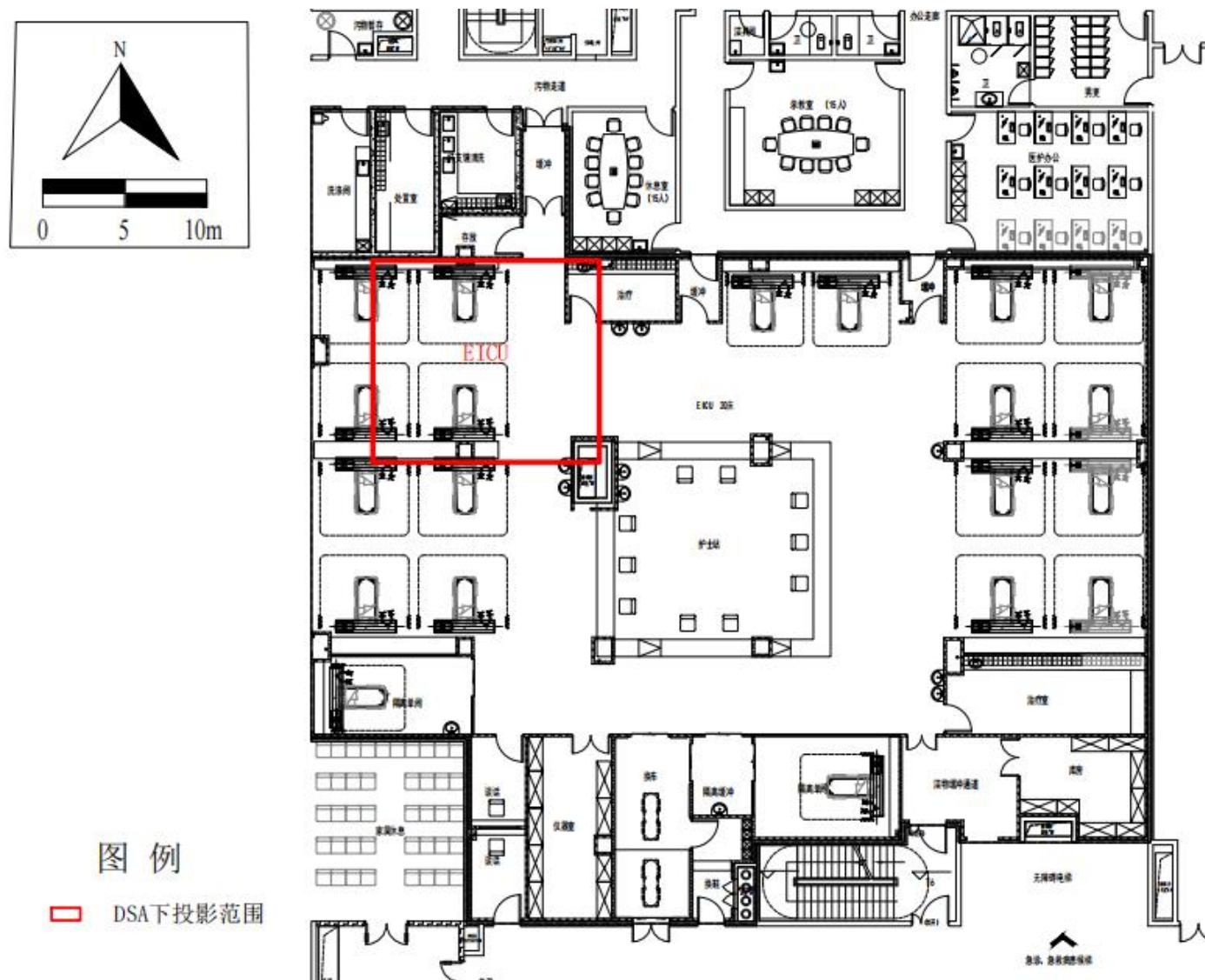


图 1.5-7 莆田学院附属医院急重症诊疗中心大楼五层平面图（本项目 DSA 上方）





拟建核医学大楼现状



拟建核医学大楼北侧道路及住院楼



拟建核医学大楼东侧道路及住院楼



莆田学院附属医院人行入口及门急诊大楼



拟建核医学大楼北侧肺科病房楼



拟建核医学大楼东侧急诊部



图 1.5-9 莆田学院附属医院现状照片

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	¹⁸ F	液态/低毒	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	PET-CT 显像	很简单的操作	核医学大楼 一层核医学科	核医学科分装室的 1#手套箱内
3	¹³¹ I	液态/中毒	使用	1.85×10 ⁵	1.85×10 ⁴	2.22×10 ⁷	甲功测定	简单操作		甲功室储药箱内
2	¹³¹ I	液态/中毒	使用	3.33×10 ¹⁰	3.33×10 ⁹	1.6×10 ¹²	甲癌治疗	简单操作		核医学科分装室的 2#手套箱内

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	DSA	II	1	uAngio AVIVACE	125	1000	放射诊断/介入治疗	急重症诊疗中心大楼四层 DSA2 机房	/
2	PET-CT	III	1	待定	140	1000	显像诊断	核医学大楼一层核医学科	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：本项目 PET-CT 使用特制的模体用于质控，无需校准源。

(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
分装室铅手套箱内含微量放射性核素的气溶胶	气体	^{18}F 、 ^{131}I	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭过滤后，由排风管道引至核医学科大楼楼顶高空排放
PET-CT 区域和甲癌治疗区域辐射工作场所的气流	气体	^{18}F 、 ^{131}I	/	微量	微量	/	不暂存	
核医学科项目产生的臭氧和氮氧化物	气体	/	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭过滤后，由排风管道引至核医学科大楼楼顶高空排放，臭氧在 20~30 分钟左右可自动分解
DSA 项目产生的臭氧和氮氧化物	气体	/	/	微量	微量	/	不暂存	通过手术室排风系统排出急重症诊疗中心大楼屋顶，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	^{18}F	/	约 4.62m ³	约 55.44m ³	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 30 天，符合排放标准后排入医院废水处理系统
		^{131}I	/	约 18.96m ³	约 227.52m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	2#槽式放射性废液衰变池	经槽式放射性废液衰变池衰变 180 天，或暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平后排入医院废水处理系统
放射性固体废物（注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、	固态	^{131}I	/	约 60kg	约 720kg	清洁解控水平： $\leq 1 \times 10^2 \text{Bq/g}$ β 表面污染： $\leq 0.8 \text{Bq/cm}^2$	暂存于甲癌病房的污被医废间内	暂存 180 天，经检测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
一次性手套、一次性杯子、一次性餐具及废活性炭等)		^{18}F	/	约 10kg	约 120kg		暂存于 PET 区域的医废间内	暂存 30 天，经检测达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理
通风系统中更换下来的废活性炭过滤吸附材料	固体	^{131}I	/	微量	微量	辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染 $<0.8\text{Bq/cm}^2$	暂存在甲癌病房污被医废间内	暂存 180 天，经检测达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理
		^{18}F	/	微量	微量	辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染 $<0.8\text{Bq/cm}^2$	暂存 PET-CT 区域东侧医废间内	暂存 30 天，经检测达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理

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保护法》，2015 年 1 月 1 日起实施； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日起施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日起实行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日起实施； (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； (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 日起实施； (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 日起施行； (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 日起施行； (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 日起实施； (11) 《放射性废物安全管理条例》，2012 年 3 月 1 日起实施； (12) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，2007 年 11 月 1 日； (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； (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； (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； (16) 《产业结构调整指导目录》（2024 年本）； (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）； (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；
------------------	---

	(19) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部文件，辐射函〔2023〕20号。
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)； (3) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021)； (4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)； (5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)； (6) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)； (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)； (8) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)； (9) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)； (10) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)； (11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)； (12) 《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》(YYT 0740-2022)； (13) 《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)； (14) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)； (15) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2023)； (16) 《危险废物收集 贮存 运输技术规范》(HJ 2025-2012)； (17) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)。
其他	(1) 委托书； (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； (3) 莆田学院附属医院提供的建筑设计图以及与项目相关的技术资料； (4) 莆田学院附属医院辐射安全许可证； (5) 福建省一准医学检测科技发展有限公司和福建锡福技术服务有限公司出具的检测报告； (6) 宇宙射线响应值监测报告。

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，使用Ⅱ类、Ⅲ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 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和 DSA 工作场所边界外 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 1.5-5，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 7.2.2。

表 7.2.1 本项目核医学科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	核医学科	本项目核医学科内	辐射工作人员	内部	约 7 人	5 ^①
2		北侧院内过道	公众人员	紧邻	流动人群	0.1 ^①
		东侧院内道路		紧邻	流动人群	
		南侧院内绿化带（拟建）		紧邻	流动人群	
		西侧停车场入口		紧邻	流动人群	
		楼上办公室、值班室、库房、资料室、活动间		紧邻	约 10 人	
		地下停车场		紧邻	流动人群	
3	核医学大楼周边 50m 评价范围内		医院内公众人员	≥2m	流动人群	0.1 ^①
4	衰变池上方景观公园及其邻接区域流动人员		公众人员	>0.5	流动人群	0.1 ^①

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。

表 7.2.2 本项目 DSA 机房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		DSA 机房	辐射工作人员	距离 DSA 球管不小于 0.5m	2 人	5 ^①
		DSA 机房控制室		毗邻	2 人	
2	DSA 机房	北侧库房 1	公众人员	紧邻	约 1~2 人	0.1 ^①
		西侧过道		紧邻	流动人群	
		南侧设备间、麻醉复苏室		紧邻	约 1~2 人	
		正上方软水处理区		紧邻	约 1~2 人	
		正下方 EICU		紧邻	约 20 人	

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
1×10^1	¹⁸ F
1×10^2	¹³¹ I

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。

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。

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。

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 7.3.2 所列。

表 7.3.2 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 7.3.3 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 7.3.3 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 7.3.4 和表 7.3.5。

表 7.3.4 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
低毒	^{18}F	0.01
中毒	^{131}I	0.1

表 7.3.5 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	^{18}F （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

注：表格综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和 7.3.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关内容得出。

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 $10\text{ALI}_{\min}$ （ $\text{ALI}_{\min}$ 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）。

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

水进行冲洗。

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 5mSv/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 7.3.6。

表 7.3.6 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		
¹⁸ F	9.3×10 ⁻¹¹	4.9×10 ⁻¹¹	2.15×10 ⁸	2.15×10 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 7.3.7 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)
	$\beta_{\max}$	β_{ave}	γ 及 X		
^{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 $\mu\text{Sv/h}$ 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 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm^2 、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/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（包括洗消毒液）。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 7.3.8 的内容。

表 7.3.8 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 7.3.9，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见表 7.3.10~7.3.12。

表 7.3.9 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 7.3.10 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 7.3.11 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 、 $^{223}\text{Ra}^*$	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ^{201}Tl	1
C	^{14}C 、 ^3H 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

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

表 7.3.12 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， ^{131}I 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；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。……个人防护用品及去污具体配置见表 7.3.13；对操作 ^{68}Ga 、 ^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{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 7.3.13 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	-
	正电子放射性药物和 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和硫代硫酸钠的水）；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 7.3.2 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 7.3.2 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 7.3.13 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： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

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）
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
^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
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 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 7.3.16 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 7.3.16 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
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/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏、辐射剂量率仪 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	—
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	—
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 7.3.17 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 7.3.17 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） 最高允许排放负荷（g/床位）	60 60	250 250
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7.3.18。

表 7.3.18 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7.3.19。

表 7.3.19 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，本次评价分别委托福建锡福技术服务有限公司、福建省一准医学检测科技发展有限公司于 2025 年 8 月 12 日、2025 年 9 月 20 日对本项目核医学科和 DSA 工作场所及其周围环境进行γ辐射剂量率背景水平调查。

8.1 项目的地理和场所位置

本项目核医学科位于新院区西部，其北侧为院内道路、住院楼，西侧为区域医疗中心一期停车场入口和院内道路，南侧为院内景观公园，东侧为院内道路、住院楼。

本项目 DSA 机位于急重症诊疗中心大楼，其东侧为延寿北路，西侧为肺科病房大楼，南侧为住院楼，北侧为荔城区第一实验小学。

医院地理位置见图 1.5-1，本项目周边环境情况见图 1.5-2，本项目所在楼层情况分布图见图 1.5-3~1.5-8 所示。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- (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，并结合本项目的实际情况，对核医学科项目所在辐射工作场所周围布置 10 个监测点位，DSA 机项目所在辐射工作场所周围布置 11 个点位，见表 8.2.1 和图 8.2-1~图 8.2-6 所示。

表 8.2.1 核医学科项目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#	拟建 PET-CT 机房中间	78.4±5.8
2#	拟建候诊室	77.5±5.7
3#	拟建甲癌病房区域	81.1±4.4
4#	核医学科大楼东北侧住院部南侧过道	71.3±4.8
5#	核医学科大楼东侧区域	70.3±5.6
6#	核医学科大楼东侧住院部大门入口处	70.4±5.9
7#	核医学科大楼北侧住院部北侧道路	69.4±4.8
8#	拟建核医学科大楼北侧道路	72.4±5.8
9#	拟建核医学科大楼南侧区域	71.0±6.9
10#	拟建核医学科大楼西侧区域	71.0±5.6

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；表中检测结果均已扣除宇宙射线响应值，宇宙射线响应值为 72.52nGy/h。

表 8.2.2 DSA 机项目 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#	拟建四楼 DSA2 机房	97.4
2#	拟建四楼 DSA2 东侧	102.4
3#	拟建四楼 DSA2 南侧	101.5
4#	拟建四楼 DSA2 西侧	99.1
5#	拟建四楼 DSA2 北侧	99.9
6#	四楼 DSA2 机房下方三楼 EICU	103.2
7#	四楼 DSA2 机房上方五楼软水处理区	70.2
8#	急重症诊疗中心大楼东侧（延寿北路）	76.4
9#	急重症诊疗中心大楼南侧（门口空地）	96.2
10#	急重症诊疗中心大楼西侧 （肺科病房大楼东侧空地）	83.8
11#	急重症诊疗中心大楼北侧 （荔城区第一实验小学南侧围墙外）	80.5

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，建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房内取 0.8，道路取 1；表中检测结果均已扣除宇宙射线响应值，宇宙射线响应值为 68.0nGy/h。

（4）检测方法、检测仪器及检测条件

本次核医学科项目 γ 辐射剂量率检测仪器为 FJ1200 型环境级 X、 γ 剂量当量（率）仪，DSA 机项目 γ 辐射剂量率检测仪器为 X- γ 辐射剂量率仪，仪器参数见表 8.2.3~8.2.4。

表 8.2.3 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	FJ1200
仪器编号	MYZ-YQ-2023-1
测量范围	10nSv/h~200 μ Sv/h
校准因子	1.01
检定/校准单位	中国辐射防护研究院放射性计量站
检定/校准证书编号	检字第〔2025〕-R3222
检定有效期	2026年7月13日
监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）
检测条件	2025 年 9 月 20 日，监测环境条件：29℃/57%RH

表 8.2.4 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	X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号	RJ32-3202
仪器编号	SVBb25129

测量范围	0.01μSv/h~150mSv/h
校准因子	0.99
检定/校准单位	中国计量科学研究院
检定/校准证书编号	DLj12025-10261
检定有效期	2025年8月5日至2026年8月4日
监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）
检测条件	2025年8月12日，监测环境条件：34.1℃/62%RH

8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下：

（1）监测单位：公司已通过资质认定，福建省一准医学检测科技发展有限公司的 CMA 编号：22130310A002；福建锡福技术服务有限公司的 CMA 编号：241312100024；

（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）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；

（4）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；

（5）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；

（6）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，检测报告见附件 8。因监测时本项目核医学科大楼拟建处为空地，故核医学科现状各监测点位均为室外环境监测点。监测结果表明，核医学科项目周边 DSA 项目室外环境 γ 辐射剂量率在 $69.4 \pm 4.8 \sim 81.1 \pm 4.4 \text{ nGy/h}$ 周边室内环境 γ 辐射剂量率在 $70.2 \sim 103.2 \text{ nGy/h}$ 之间，项目周边室外环境 γ 辐射剂量率在 $76.4 \sim 96.2 \text{ nGy/h}$ 之间，根据《中国环境天然放射性水平》（原国家环境保护总局，1995 年）中，莆田市室内扣除宇宙射线响应值后的辐射环境本底范围值为 $132.6 \sim 201.9 \text{ nGy/h}$ ，室外（含原野及道路）扣除宇宙射线响应值后的辐射环境本底范围值为 $63.7 \sim 126.1 \text{ nGy/h}$ 。对比结果显示，本项目所在地及工作场所的辐射剂量率处于莆田市环境本底范围。

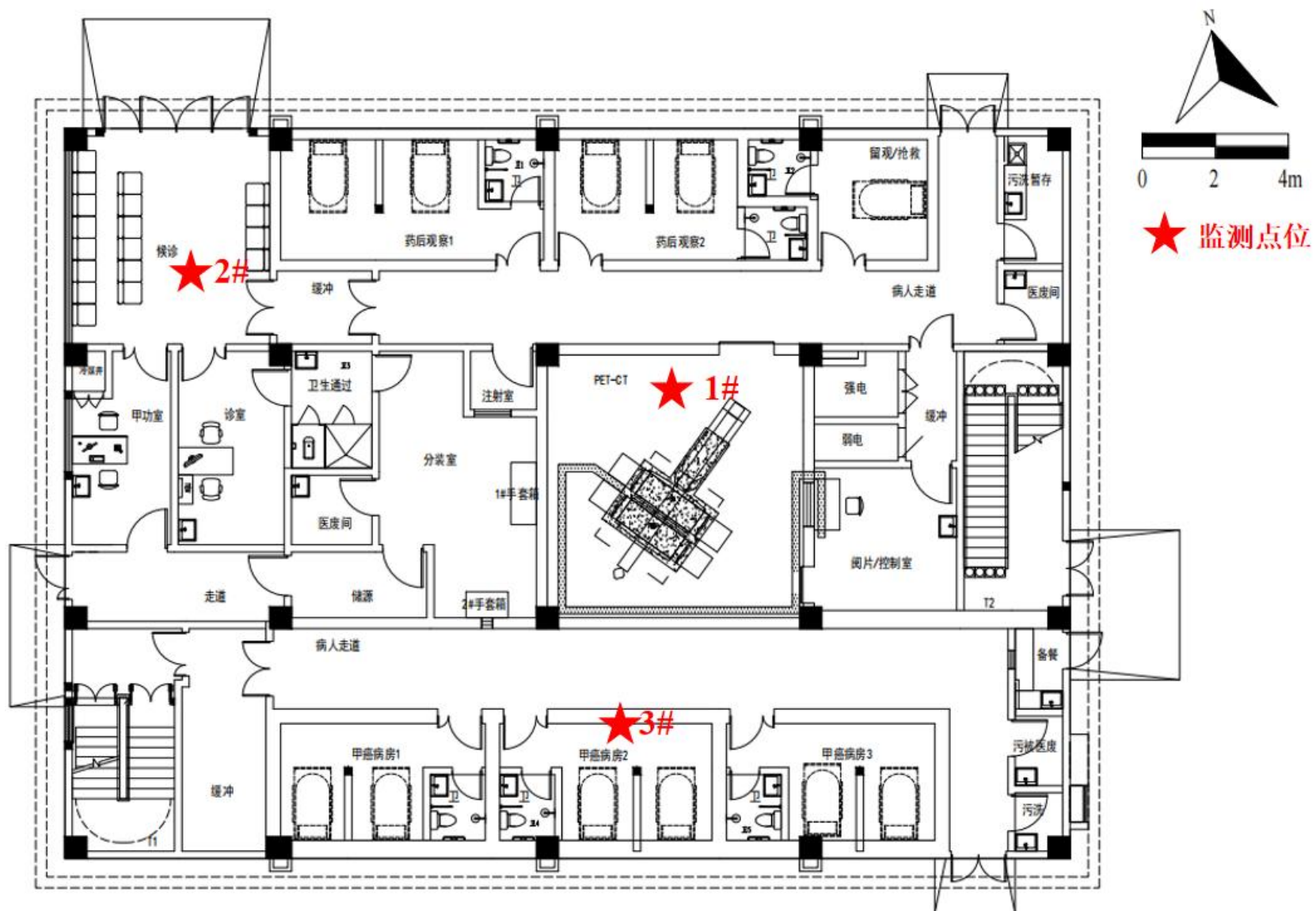
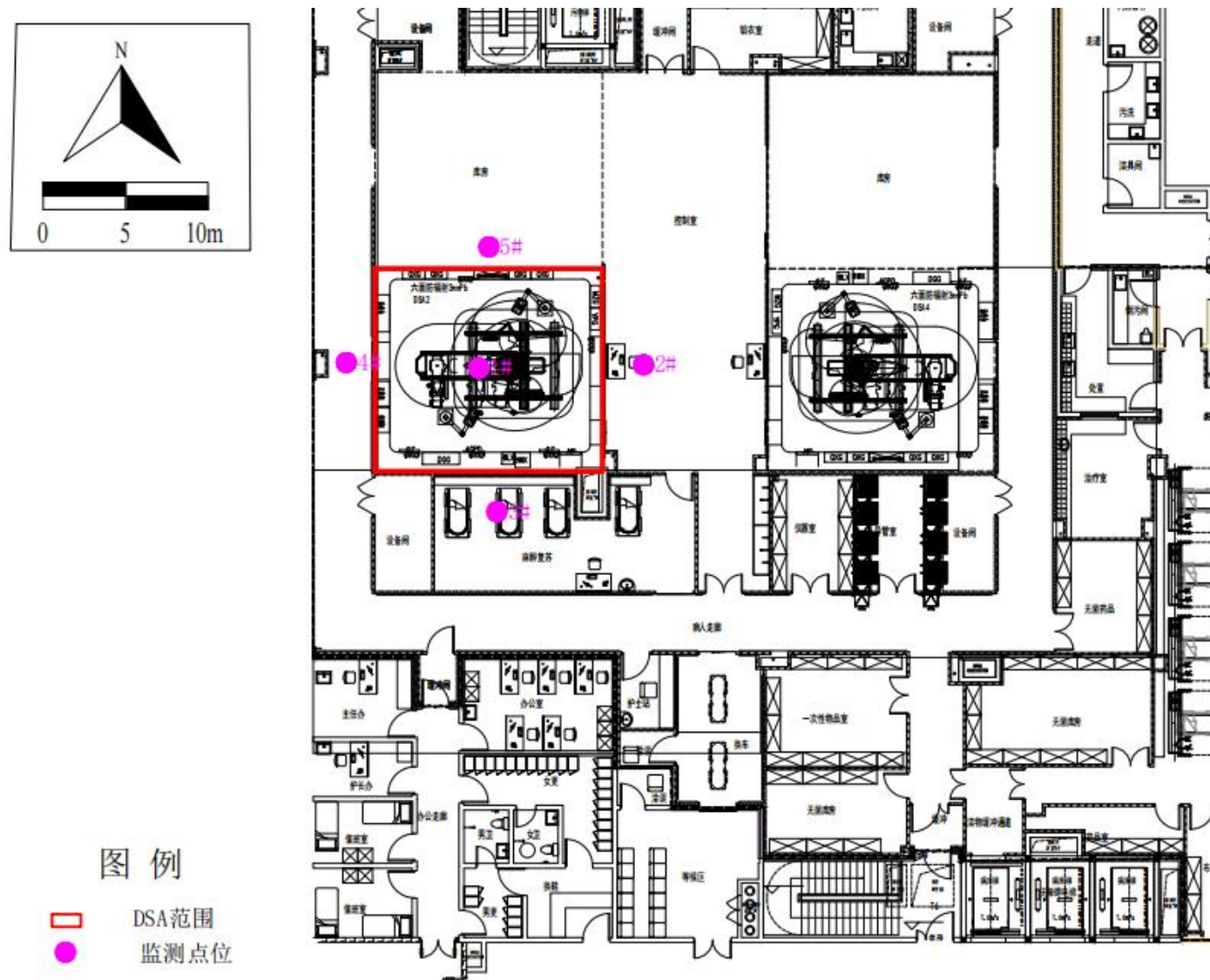


图 8.2-1 本项目核医学科场所监测点位分布图



图 8.2-2 本项目核医学科外环境监测点位分布图



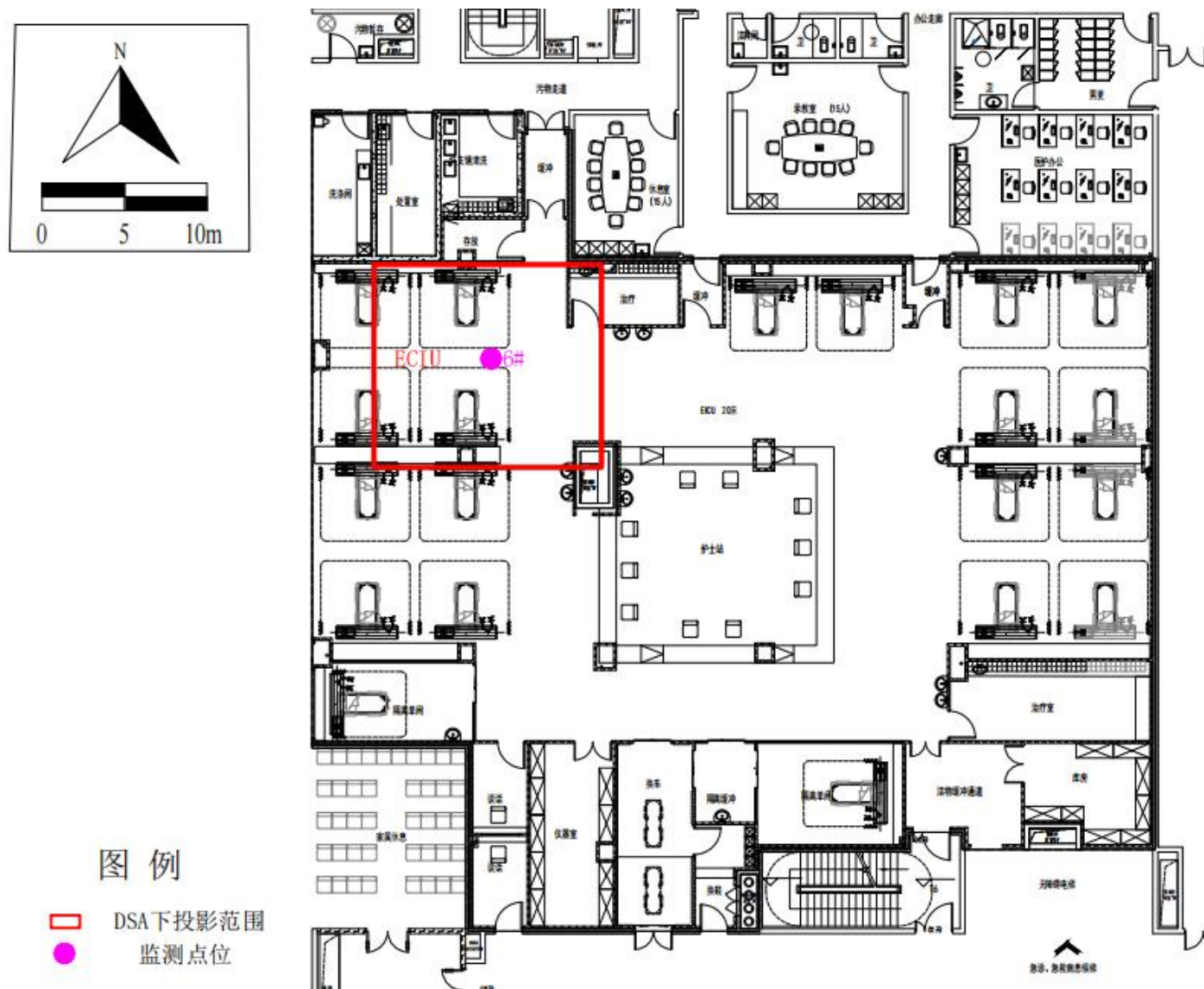


图 8.2-4 本项目 DSA 机场所监测点位分布图（急重症诊疗中心大楼三层）

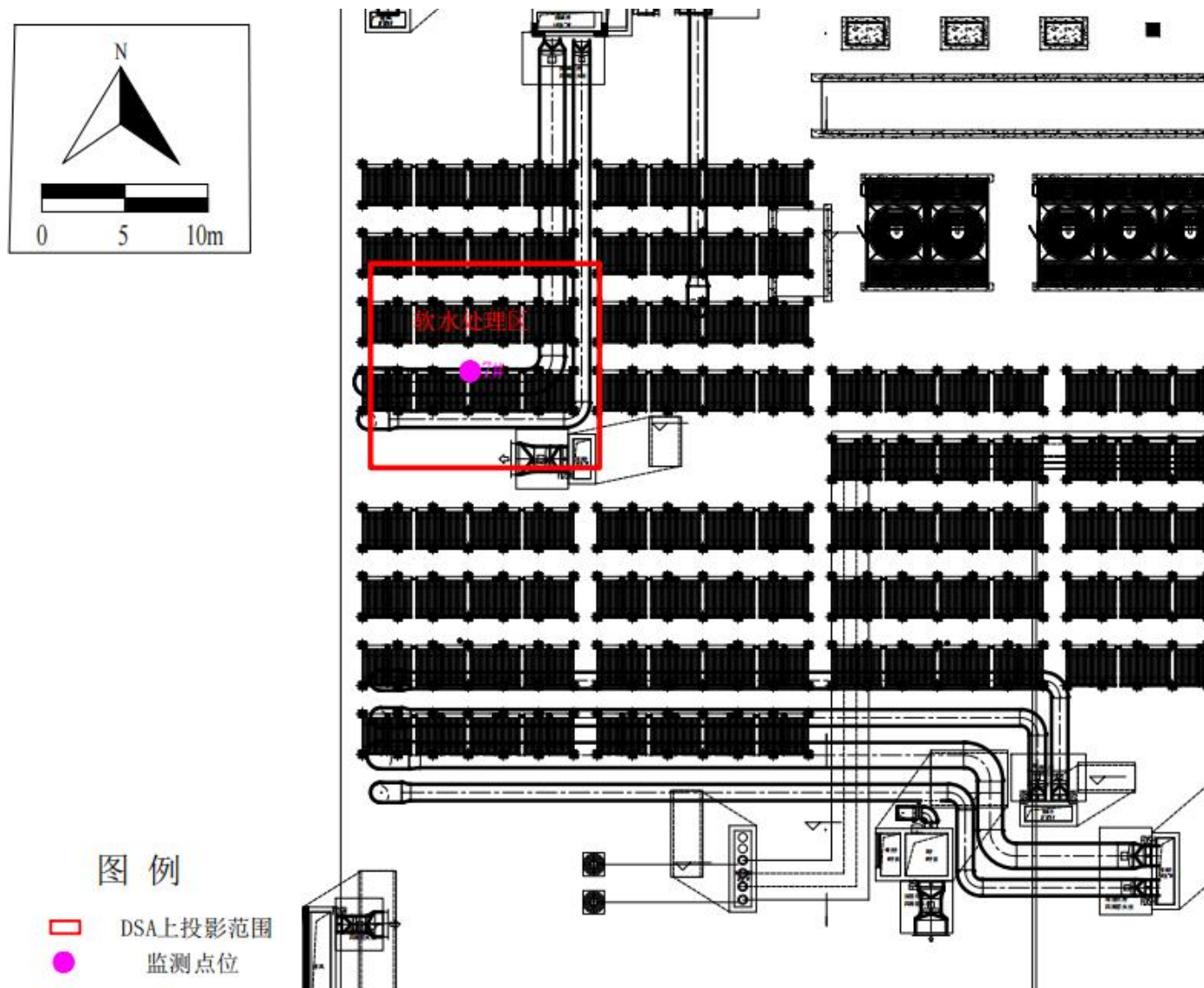


图 8.2-5 本项目 DSA 机场所监测点位分布图（急重症诊疗中心大楼五层）



图 8.2-6 本项目 DSA 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 PET-CT 工作原理、工艺流程

9.1.1.1 工作原理

PET 是 Positron Emission Computed Tomography（正电子断层显像）的缩写。PET 的基本结构由探头（晶体、光电倍增管、高压电源）、电子学线路、数据处理系统、扫描机架及同步检查床组成。PET 使用正电子示踪剂，将发射正电子的核素与生物学相关的特定分子连接而成的正电子放射性药物注入体内后，正电子放射性药物参加人体相应的生物活动，同时发出正电子射线，湮灭后形成能量相同（511keV）、方向相反的两个 γ 光子。在 PET 的探测器接收光子过程中应用电子准直或符合探测技术，即可得到正电子放射性药物的分布情况，并经计算机图像重建后进一步转化为肉眼可视的图像。

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。

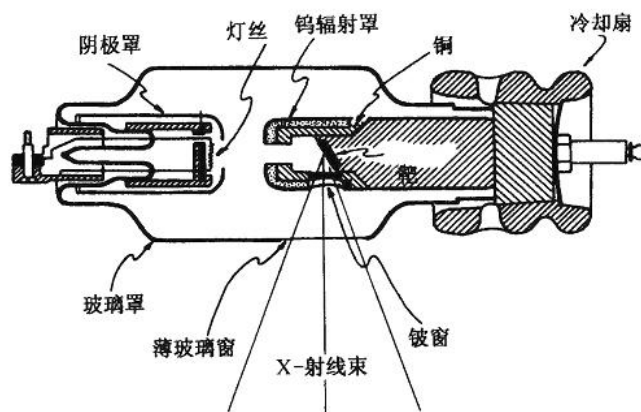


图 9.1-1 X 射线管结构原理图

PET-CT 是将 PET 和 CT 联合在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重叠联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。这样就可以采用 CT 图像对 PET 功能图像进行解剖定位，同时又可以采用人体 X 射线衰变图的衰变系数对 γ 射线在人体内的衰减进行校正，通过计算机重建成断层图像，反映不同组织/器官的血流、功能与代谢状态。

本项目使用的 PET-CT 型号待定，其 CT 最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA，使用 ^{18}F 水膜进行质量控制和图像校正，无需配置专用校准源。设备结构图见图 9.1-2 所示。



图 9.1-2 PET-CT 设备结构图

本项目 PET-CT 显像诊断涉及的非密封放射性物质为 ^{18}F 核素，主要用于肿瘤和癌症的显像诊断，其衰变示意图见图 9.1-3，主要性质见表 9.1.1。

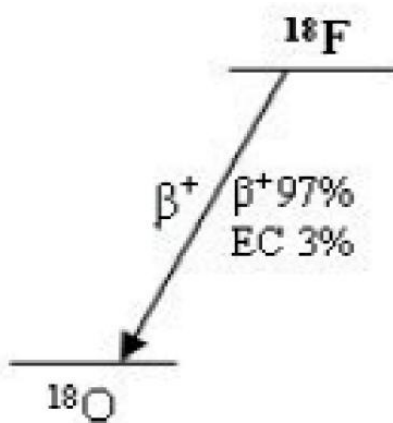


图 9.1-3 PET-CT 设备结构图

表 9.1.1 非密封放射性物质 ^{18}F 性质

核素种类	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 MeV	光子能量 MeV	周围剂量单量率常数(裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.8min	β^+ 、EC	0.63 (+)	0.511	0.143

9.1.1.2 工艺流程分析

- ①根据需要，接受显像检查的人员进行预约登记，确定用药量；
 - ②向有资质的供货商订购药物，药物送至医院；
 - ③医院接收、检查药物，并登记、签字。
 - ④在分装室 1#手套箱内进行药物分装。受检者按约定时间在给药候诊区准备和等候；准备好的受检者在专用通道注射窗口接受注射，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用一次性注射器汲取计划的药量，通过注射台为受检者注射药物；
 - ⑤受检者进入给药后的候诊区候诊；
 - ⑥受检者进入 PET-CT 机房接受检查；
 - ⑦检查完成，受检者在留观室休息一段时间后，从专用通道离开；
 - ⑧多余药物由药物供应商收回处理。
- 本项目 PET-CT 工作流程见图 9.1-4。

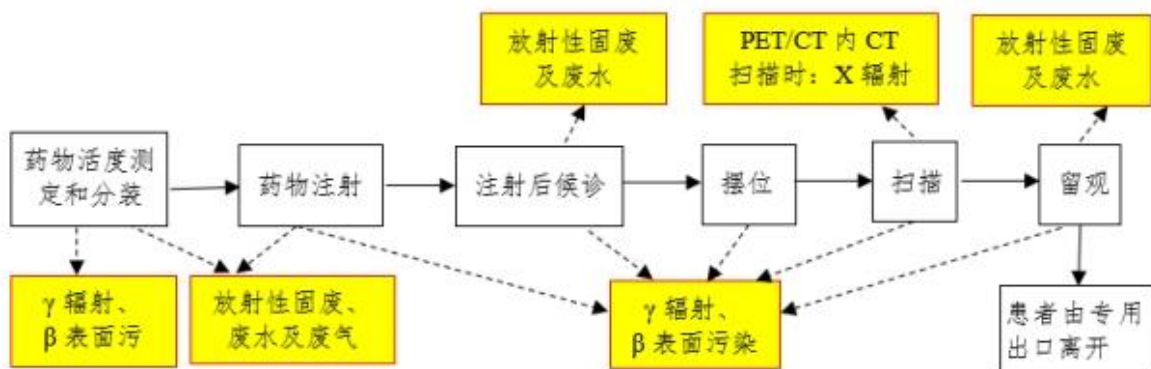


图 9.1-4 PET-CT 工作流程及产污环节示意图

9.1.1.3 PET-CT 区域人员配备、治疗规模及工作负荷

(1) 人员配备情况

本项目 PET 区域拟安排辐射工作人员 5 人：负责分装、注射的核素操作人员 3 人，负责扫描、摆位的 PET-CT 操作人员 2 人；以上人员进行轮岗，因此本项目的分装、注射工作人员工作时间为年诊断时间的 1/3，扫描、摆位工作人员工作时间为年诊断时间的 1/2。

单名患者诊疗的工作人员工作时间：取药时间约 2min/1 人次，注射时间约 3min/1 人次，摆位约 1min/1 人次，扫描约 10min/1 人次。

(2) 诊疗规模和工作负荷

由医院提供资料可知，本项目 PET-CT 区域核素 ^{18}F 预计诊疗规模（最大注射量对应人数）如表 9.1.2 所示。供货商每日分两次送药到本项目 PET-CT 区域，送达时间分别早于医院早上上班前及医院下午上班前，每次送药量为半日使用量的两倍。

表 9.1.2 本项目核素 ^{18}F 预计诊疗规模

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	
^{18}F	370	10	210	2500	每周诊断 5 天，每年 50 周

9.1.2 ^{131}I 核素治疗工作原理、工艺流程

9.1.2.1 工作原理

(1) 甲功测定工作原理

^{131}I 具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄取碘的速度和数量与甲状腺的功能状

态有关，口服 ^{131}I 后可被甲状腺滤泡上皮细胞摄取、浓聚。在体外，利用甲状腺功能仪探测甲状腺 ^{131}I 发射的 γ 射线，获得不同时间甲状腺部位的放射性计数率，根据甲状腺摄取 ^{131}I 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。

（2）甲癌治疗工作原理

^{131}I 用于甲状腺方面的疾病治疗是基于人体甲状腺对碘具有高度选择性吸收的特点；而甲癌患者的甲状腺病变组织具有比一般甲状腺组织高强的摄碘率。另一方面， ^{131}I 为 β -衰变， β 射线有效射程仅有 0.5~2mm，主要对 ^{131}I 附近的人体组织产生破坏，在人体内影响区域较为有限。基于此，出现了采用 ^{131}I 治疗甲癌的方案。由于甲癌组织对 ^{131}I 的特异性吸收， ^{131}I 能长时间集中照射癌组织，使其腺体被破坏后逐渐坏死，达到治疗的目的。

本项目涉及的放射性治疗核素 ^{131}I 特性见表 9.1.3。

表 9.1.3 本项目核素 ^{131}I 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) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{131}I	8.02d	β^- (100)	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595

9.1.2.2 工艺流程分析

本项目甲功测定、甲癌治疗所用 ^{131}I 放射性药物采购自有资质的放射性药物供货商。 ^{131}I 放射性药物整瓶装入铅罐（40mmPb）内，由专用放射性药物运输车辆送至医院核医学科，甲功药物直接送至甲功室储药箱内。甲癌药物送至分装室，医护人员将铅罐装入手套箱内的自动分装仪中，通过电脑控制完成单个患者的药物分装及活度测量，患者在服药区取出装有药物的一次性纸杯服药。

（1）甲功测定工作流程

- ①根据需要，医院对接受甲功测定的患者进行预约登记，确定用药量。
- ②有资质的供货商根据医院提供的每个患者用药量，将已分装好的 ^{131}I 甲功测定药物（储存在 40mmPb 的储药箱内）送至核医学大楼一层核医学科甲功室内。
- ③患者按约定时间在核医学科候诊大厅准备和等候；医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品从储药箱内取出患者的药物，患者在甲功室空腹口服 ^{131}I 。单名患者用药活度小，服药后病人经检查无异常后直接离院。

④患者服药后于第 2h、4h、24h 返回医院甲功室，医务人员用甲功能仪测定患者颈部甲状腺部位的放射性计数，并同标准源比较，计算甲状腺吸 ^{131}I 率，绘制甲状腺吸 ^{131}I 率曲线。

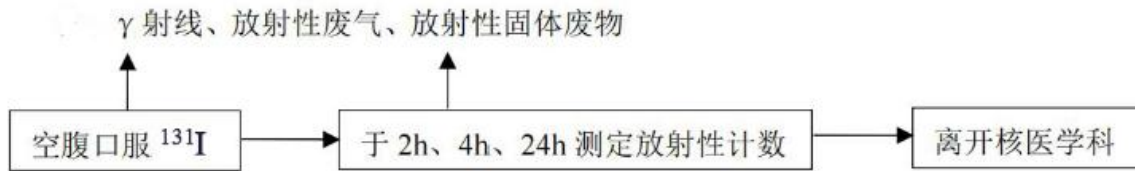


图 9.1-5 甲功测定操作流程示意及产污环节图

(2) 甲癌治疗工作流程

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 周等。

②医院的工作人员对患者进行相关检查和甲状腺 ^{131}I 摄取率测定。

③根据患者甲状腺的相关情况等制定治疗剂量方案。

④医务人员通过电脑设置 2#手套箱自动分装仪给药量，仪器自动给药。患者在服药区空腹口服 ^{131}I ，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。

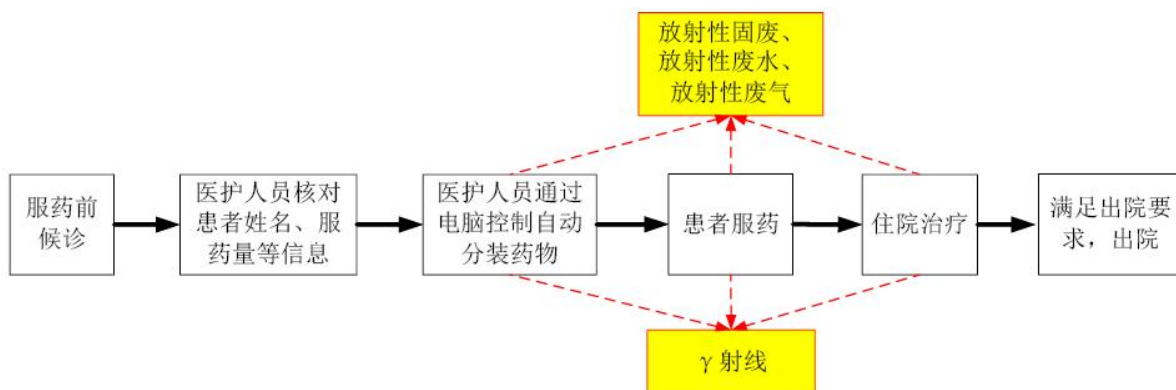


图 9.1-6 甲癌治疗操作流程示意及产污环节图

9.1.2.3 人员配备、治疗规模及工作负荷

(1) 人员配备情况

本项目甲癌治疗在核医学大楼一层南侧的 ^{131}I 甲癌治疗区域内进行。本项目 ^{131}I 甲癌治疗区域拟采取自动分装的形式，由工作人员通过现场或远程操控分装室内的自动分装仪分装出计划剂量的放射性药物，并根据监控对讲指引患者前往服药窗口服用

放射性药物。拟安排辐射工作人员 2 人，主要负责自动分装的操作和观察病人服药；本项目 ^{131}I 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 ^{131}I 治疗区域预计治疗规模（最大服药量对应人数）如表 9.1.4 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 9.1.4 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 （甲功 测定）	0.185	10	100	1200	每月集中服药 10 天
2	^{131}I （甲癌）	5550	6	24	288	每月集中治疗 4 批次， 每批次治疗时间为 5 天

9.1.3 DSA 工作原理、工艺流程

9.1.3.1 工作原理

DSA 是利用 X 射线进行摄影或诊疗的设备，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，灯丝通电加热产生电子，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。

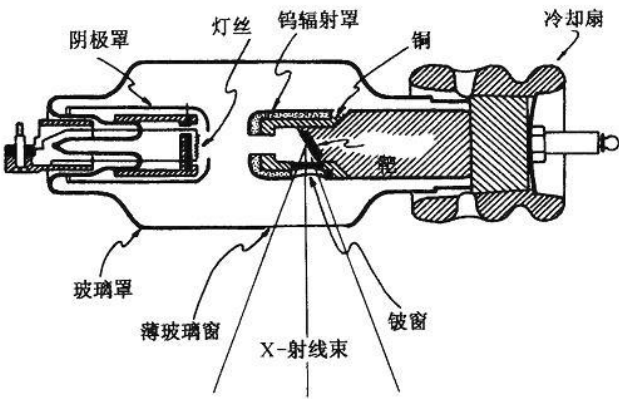


图 9.1-7 X 射线管结构及原理

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。两次数值相减，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。

9.1.3.2 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 9.1-8。



图 9.1-8 DSA 设备结构图

9.1.3.3 操作流程

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 DSA 机房。

DSA 机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 9.1-9。

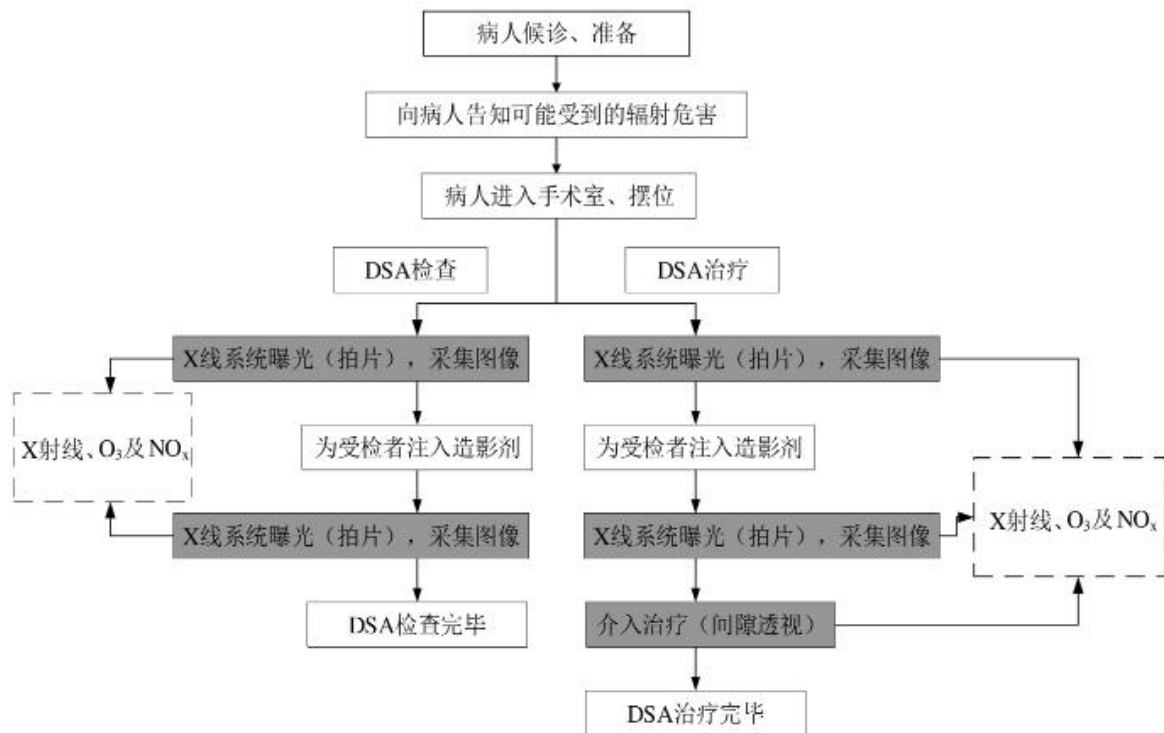


图 9.1-9 DSA 机工作流程图及产污环节

9.1.4 本项目 DSA 工况（手术量）

根据院方提供的资料，预计本项目 DSA 机年手术约 1000 台，保守估计，每台手术透视 15min，摄影 3min。即年透视工作时间 250h，摄影时间 50h。

本项目拟安排的辐射工作人员 10 人，其中 6 名为介入室医生、护士，拟采取轮岗的形式在 DSA 进行检查和手术；4 名为控制室工作人员，为固定人员，实行轮岗；10 名辐射工作人员均为新增人员。

9.1.4 人流和物流的路径规划

本项目核医学科 PET-CT 区域和甲癌治疗区域内人流和物流的具体路线见图

9.1-8。

1) 人流

①医护人员

PET-CT 操作人员：经核医学科东侧门进入，通过阅片/控制室的门禁验证后，向西进入控制室进行设备操作，由控制室东侧防护门进入 PET-CT 机房进行摆位指导，工作结束后按原路返回。

PET-CT 区域核素操作人员：经核医学科北侧候诊室进入诊室，通过卫生通过间的门禁验证后，向东进入分装室，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：经核医学科北侧候诊室进入诊室，通过卫生通过间的门禁验证后，向东进入分装室，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

^{18}F 患者：在核医学科西侧候诊区候诊，叫号后，由西北门进入 PET-CT 区域的注射处， ^{18}F 患者注射后向东，经患者通道进入药后观察室候诊，随后根据工作人员叫号，由 PET-CT 机房北门进入进行检查，检查后向北进入留观室，在留观室留观无异常，经患者通道北门离开核医学科。

甲功测定患者：在核医学科西侧候诊区候诊，叫号后，往南进入甲功室，服药后经检查无异常，按原路返回。

^{131}I 患者：在核医学科西侧缓冲区候诊，叫号后，由缓冲区进入甲癌治疗区域的服药区，服药后经病人走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，通过甲癌治疗区域东南侧出口离开核医学科。

2) 物流

①药流

本项目核医学学科的药物经核医学科西侧走廊向东，通过储源间的门禁验证后，向北直接进入分装室。

甲功测定的 ^{131}I 药物（储存在 40mmPb 的储药箱内）经核医学科西侧入口进入后直接送至甲功室内。

②放射性废物

PET-CT 区域的放射性废物：分装室、注射室、药后观察室 1、药后观察室 2、留

观/抢救室室内均设置衰变桶，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 PET-CT 区域工作人员收集至医废间内，分装室产生的放射性固体废物收集至分装室的医废间；其他场所产生的放射性固体废物收集至 PET-CT 区域东侧的医废间。含 ^{18}F 的放射性固体废物贮存衰变至少 30 天，经监测满足解控要求后作为一般医疗垃圾处理。剩余的 ^{18}F 放射性药物收集至铅罐中，并暂存于分装室的 1# 手套箱内。

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医废间内贮存衰变至少 180 天，经监测满足解控要求后作为一般医疗垃圾处理。剩余的 ^{131}I 放射性药物收集至铅罐中，并暂存于分装室的 2# 手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收。

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送至各医废间；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 9.1-10 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，项目所在的核医学科大楼为新建独栋建筑，对医院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。

9.2 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，项目新建核医学大楼和急重症诊疗中心大楼 DSA2 机房进行内部建设、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产生。

(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，本项目约有施工人员 20 人，按每人产生生活污水 0.12t/d 计，日产生污水量约 2.4t/d，与医院职工、病人等产生的污水一并进入医院污水处理站处理后排入市政管网。

(4) 固体废弃物

本项目施工期间产生的固体废物主要有施工人员的生活垃圾，设备废包装和建筑垃圾等。施工人员生活垃圾按人均每天产生量 1kg 计，施工期间日产生生活垃圾 20kg，这部分垃圾收集后与医院非医疗生活垃圾一道由环卫部门清运处理。设备包装主要为纸箱、泡沫等，这些固体废物可回收部分应予以回收，其余部分应进入垃圾填埋场处理。工程施工期间会产生砖头、钢筋等建筑垃圾，这部分垃圾可利用部分应予以回收利用，不可利用部分可进入填埋场处理。

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 ^{18}F 、 ^{131}I 发射的 β 、 γ 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 ^{18}F 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 ^{18}F 和 ^{131}I 核素的放射性气溶胶，其中 ^{18}F 核素的分装过程均在分装室的 1#手套箱内进行， ^{131}I 核素在分装室的 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：在医院观察期间 ^{18}F 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、一次性餐具、工作场所通风系统过滤装置更换下来的废弃活性炭等放射性固体废物。

⑦本项目使用的 ^{18}F 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，因此 ^{18}F 患者出院时对公众发射的 γ 射线影响可以忽略；本项目甲功测定中 ^{131}I 核素的使用量极少，因此本项目甲功测定患者出院时对公众发射的 γ 射线影响可以忽略；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 PET-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。PET-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，PET-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 PET-CT 机房内而受到误照射。

③PET-CT 发生 X 射线无法停束故障，人员入内受到误照射。

9.2.2.3 DSA 污染源项及途径

本次项目数字平板减影血管造影机（DSA）属于 II 类射线装置。采用 X 射线进行放射诊断的设备，其主要放射性污染因子为 X 射线对公众及放射性工作人员的外照射。项目运行期没有放射性的废气、废水和固体废弃物产生。

（1）正常工况

DSA 机房内，在隔室操作、设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下进行出束操作，当电子轰击与靶物质发生作用产生辐射 X 射线，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 射线随机地开、关而产生和消失。

X 射线装置产生 X 射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) 事故性出束:

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 DSA 机房。防护门联锁失效未关闭造成 DSA 机房外剂量超标, 造成人员在不知情的情况下在 DSA 机房周围活动, 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。

2) 控制室人员操作失误情况:

控制室操作人员在病人及医护人员完成手术未离开时, 失误操作出束给病人及医护人员造成额外的照射。

3) 人体受超剂量照射事故:

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。

4) 照射不能停止

在手术结束后, 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。

5) 紧急停止开关失灵

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。

本项目中使用的 DSA 为数字化显影设备, 不会产生废显影水、定影水, 因此不存在污水污染的问题。

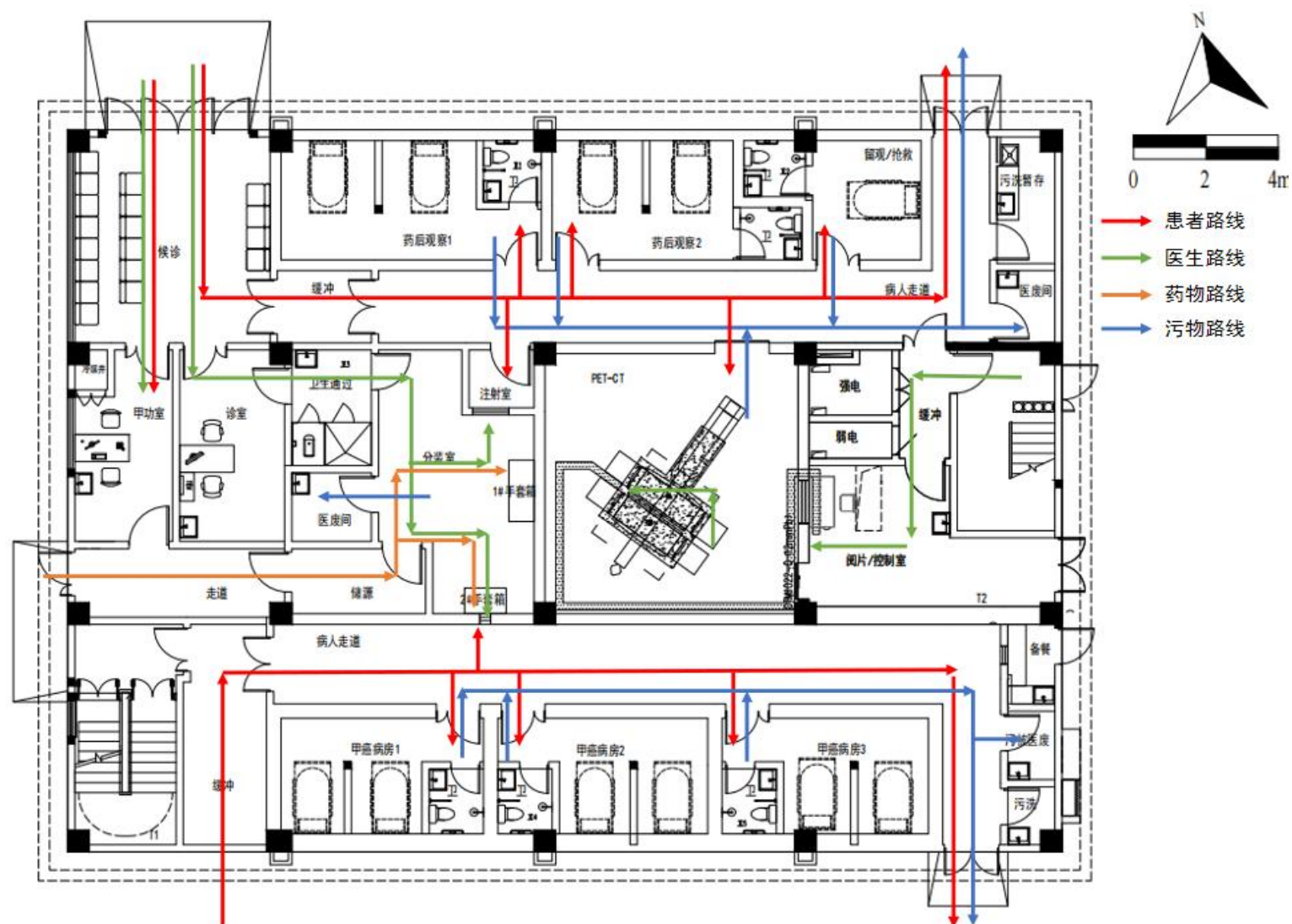


图 9.1-10 本次核医学科项目人流、物流路线示意图

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核医学大楼一层，从功能上主要设置有 PET-CT 区域和甲癌治疗区域，其中 PET-CT 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，自北向南分别设有候诊区、药后观察区、留观室、PET-CT 区域病人走道、医废间、污洗暂存间、甲功室、诊室、分装室、注射室、PET-CT 机房、控制室、甲癌区域病人走道、甲癌病房 3 间、甲癌治疗区域的污被医废间、污洗间等。项目分装室与注射处、服药处的设置集中，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。 综上所述，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。 且有相对独立的工作人员和辐射防护措施。本项目建成后，医院将分为 2 个非密封放射性物质工作场所，现住院部一层核医学科仍为乙级非密封放射性物质工作场所，本项目核医学科为一个乙级非密封放射性物质工作场所。因此，本次核医学科工作场所的增加不改变医院《辐射安全许可证》中非密封物质工作场所的级别。本项目

建成后，新院区将存在 2 个乙级非密封物质工作场所，原有乙级非密封物质工作场所核素照常运行。

（2）核医学科工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430 号文）的相关要求，本项目核医学科与东侧的医院住院部一层北侧现有核医学科完全分开，该中心具有独立、明确的监督区和控制区、诊断流程连续完整，且设有独立的辐射防护措施，可作为一个单独场所进行日等效操作量核算。

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。由此通过查阅相关核素毒性组别修正因子、操作方式修正因子，估算本项目放射性核素的日等效操作量，详见表 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）
^{18}F	7.40×10^9	低毒，0.01	很简单的操作，10	7.40×10^6
^{131}I	3.33×10^{10}	中毒，0.1	简单的操作，1	3.33×10^9
合计				3.34×10^9

注： ^{18}F 按照 2 倍用量考虑， ^{131}I 包含甲功、甲癌用量。

由表 10.1.1 可见，本项目核医学科日等效最大操作量为 $3.34 \times 10^9 \text{Bq}$ ，小于 $4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封物质工作场所。医院的非密封放射性物质工作场所等级维持“乙级”不变。届时，医院将拥有两处独立的非密封放射性物质工作场所。

（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
^{18}F	7.40×10^3	1	1	7.40×10^3	/
^{131}I	3.33×10^4	100	1	3.33×10^6	/
合计				3.34×10^6	I

本项目区域各放射性核素的加权活度最大为 $3.34 \times 10^6 \text{MBq}$ ，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 工作场所布局

本项目 DSA 设备设有单独的机房，控制室位于机房外，机房内有效使用最小面积 57.1m^2 ，最小单边长度 7.1m ，机房内空间设计情况见表 10.2.1 和图 10.2-1。

表 10.2.1 照射室空间符合性表

设备类型	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)	
DSA	20	3.5	57.1	7.1	符合

由表 10.2.1 可知，本项目 DSA 机房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。

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 10.1.3 和图 10.1-1~10.1-2。

表 10.1.3 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	药后观察室 1、药后观察室 2、留观室、PET-CT 病人走道、PET-CT 机房、注射室、分装室、分装室内医废间、储源室、甲癌治疗区域的患者走道、污洗间、甲癌治疗区域的污被医废间、甲癌病房 1、甲癌病房 2、甲癌病房 3	甲功室、候诊区、诊室、走道、控制室、强电间、弱电间、缓冲间、备餐间
2	衰变池间	衰变池间	/
3	DSA 区域	四楼 DSA2 机房	库房、操作室、麻醉复苏间、设备间、四楼 DSA2 机房西墙外 30cm、四楼 DSA2 机房东墙外 30cm。

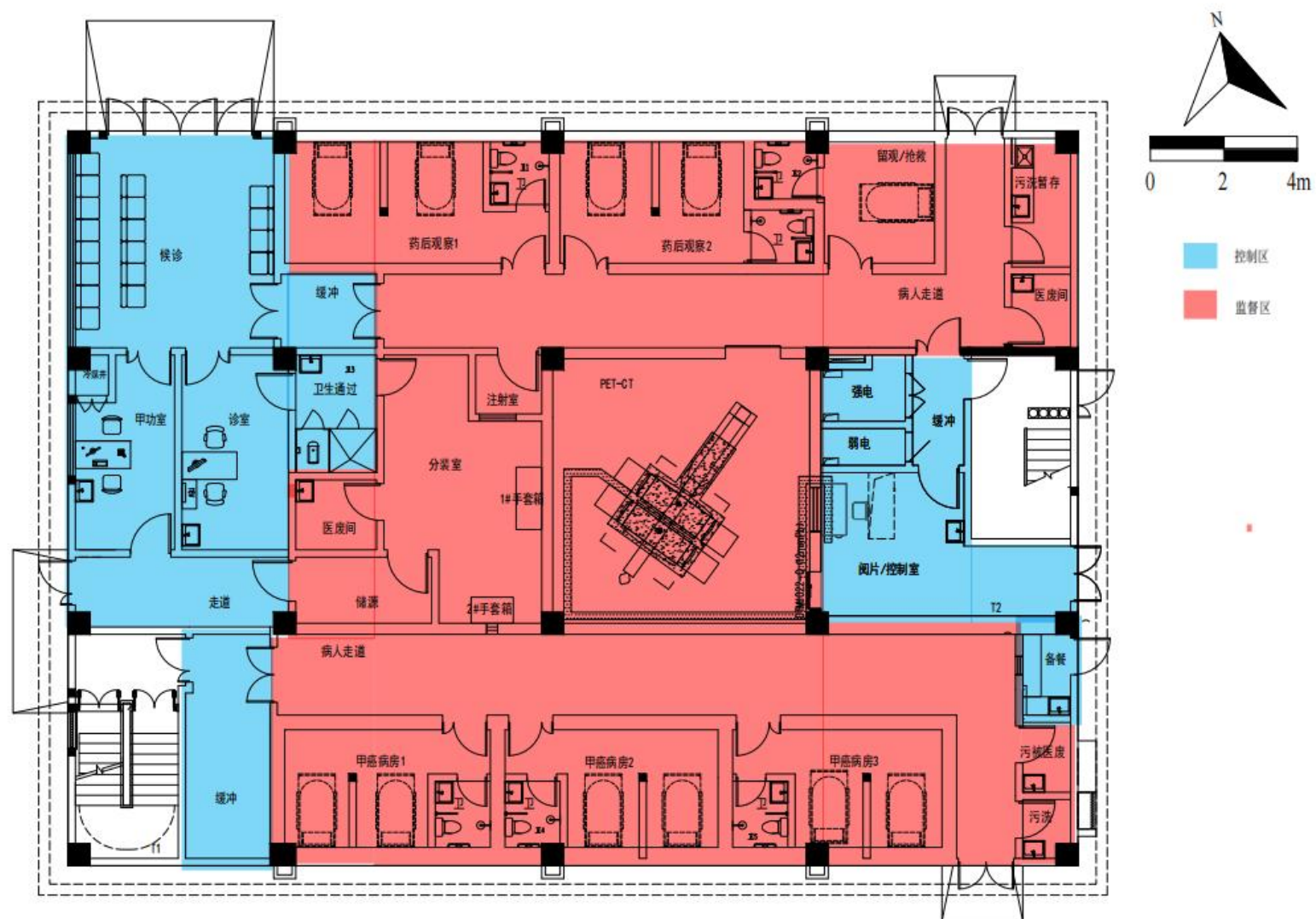


图 10.1-1 本项目核医学科分区情况示意图

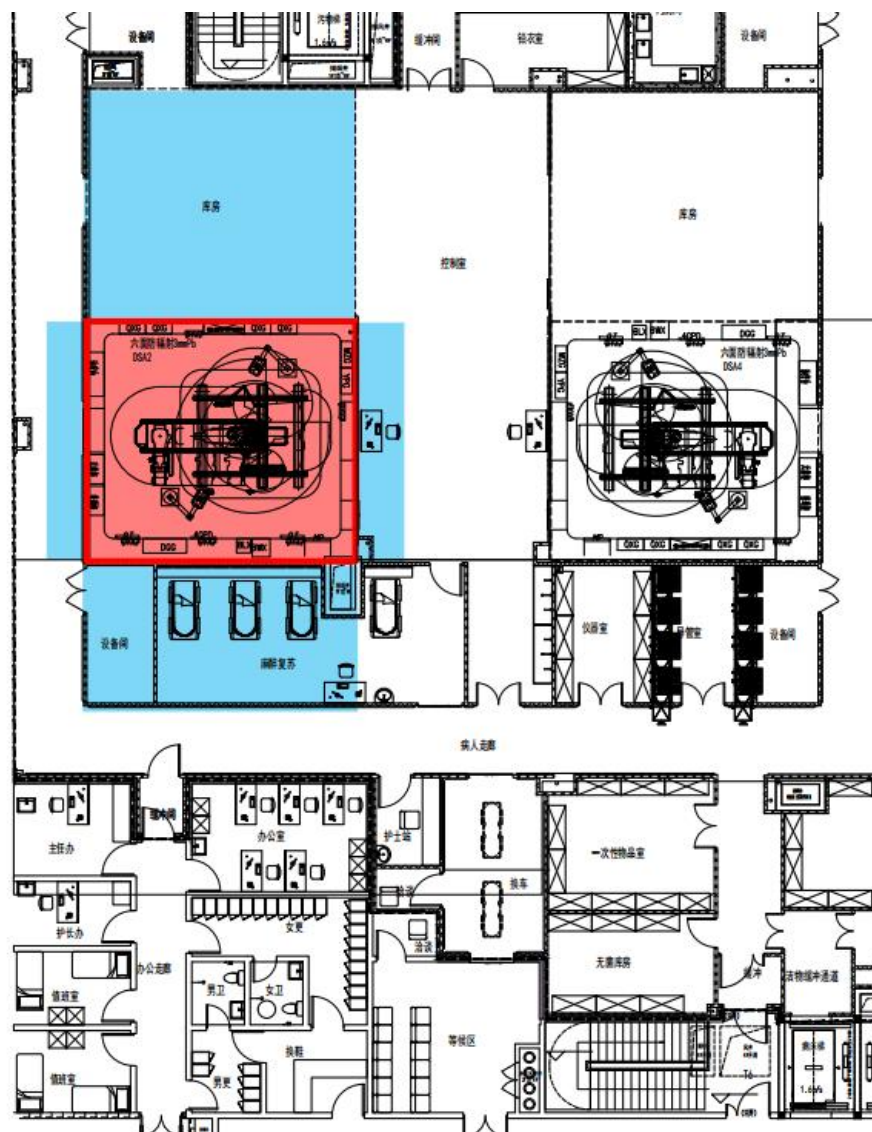


图 10.1-2 本项目 DSA 分区情况示意图

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 DSA、PET-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 工作场所屏蔽防护方案

根据莆田学院附属医院提供的资料，核医学大楼负一层层高为 4.7m，一层层高 5m，二层层高为 4.2m。项目核医学科部分墙体采用铅板的方式增加防护，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
分装室	东墙	300mm 混凝土	南侧：12mmPb； 西侧（医废间）： 12mmPb； 西侧（卫生间）： 12mmPb	北侧 PET-CT 区域：40mmPb； 南侧甲癌区域： 40mmPb；
	南墙	300mm 混凝土+4mmPb 铅板		
	西墙	200mm 混凝土+4mmPb 铅板		
	北墙	200mm 混凝土+4mmPb 铅板		
	顶板	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂		
	手套箱 1	50mmPb		
	手套箱 2	50mmPb		
注射室	东墙	300mm 混凝土	北侧：15mmPb	南侧：40mmPb
	南墙	200mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	西墙	200mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	北墙	200mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	顶板	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂		
药后观察室 1	东墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	南侧：12mmPb	/
	南墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	西墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	北墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	顶板	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂		
药后观察室 2	东墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	南侧：12mmPb	/
	南墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	西墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	北墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		

	顶板	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂		
留观室	东墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	南侧：12mmPb	/
	南墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	西墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	北墙	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	顶板	300mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂		
PET-CT 机房	东墙	300mm 混凝土	北侧：12mmPb； 东侧：12mmPb	东侧：20mmPb
	南墙	300mm 混凝土		
	西墙	300mm 混凝土		
	北墙	300mm 混凝土		
	顶板	300mm 混凝土		
	地面	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂		
甲癌 病房 1	东墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	北侧：20mmPb	/
	南墙	500mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	西墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板		
	北墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板		
	顶板	500mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+8mmpb 铅板		
甲癌 病房 2	东墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	北侧：20mmPb	/
	南墙	500mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	西墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板		
	北墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板		
	顶板	500mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+8mmpb 铅板		
甲癌 病房 3	东墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	北侧：20mmPb	/
	南墙	500mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	西墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板		
	北墙	400mm 混凝土+7mmPb 铅板		
	顶板	500mm 混凝土+3mmPb 铅板		
	地面	300mm 混凝土+8mmpb 铅板		
衰变池 间	北墙	550mm 混凝土	/	/
	东墙	550mm 混凝土		
	南墙	850mm 混凝土		
	西墙	900mm 混凝土		
	顶板	300mm 混凝土+5mmPb 防护铅板		

注：混凝土密度为 2350kg/m^3 ，实心砖密度为 1650kg/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。

本项目 DSA 机房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。DSA 机房拟采取的辐射防护措施情况见表 10.2.2，拟配备的防护用品见表 10.2.3 所示。

表 10.2.2 DSA2 机房屏蔽设计参数一览表

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计参数	标准要求 mmPb
DSA2 机房	四周墙体	轻钢龙骨+4mmPb 铅板 (约 4mmPb 铅当量)	2.0
	顶棚	13cm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥 (约 4.49mmPb 铅当量)	
	地板	13cm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥 (约 4.49mmPb 铅当量)	
	防护门	内衬 4mmPb 铅板	
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	
标志、警示		机房防护门上方安装醒目的指示灯，门上粘贴明显的电离辐射标志	/

注：混凝土密度为 2.35g/cm^3 ；防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 10cm，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 1cm，防止射线泄漏。

表 10.2.3 本项目 DSA2 机房拟配备防护用品一览表

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）			防护用品拟配备情况	评价
标准要求				
工作人员	个人防护用品	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	①医院拟配备了 1 个铅悬挂防护屏、1 个床侧防护帘； ②医院拟为本项目 DSA 机房工作人员配备 4 套铅衣、4 件铅围裙、4 件铅颈套、4 顶铅帽、4 个铅围脖、4 副铅眼镜（均为 0.5mmPb）4 副介入防护手套（0.025mmPb）、4 个铅帽； ③医院拟为本项目 DSA 机房受检者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb）； ④医院拟为本项目 DSA 机房陪检者配备 1 件铅衣（0.5mmPb）、1 件铅围裙、1 件铅颈套； ⑤医院根据辐射工作人员人数配备个人剂量计。	符合要求
	辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏、辐射剂量率仪； 选配：移动铅防护屏风		
受检者	个人防护用品	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		
	辅助防护设施	—		
铅当量要求	①防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb； ②介入防护手套应不小于 0.025mmPb； ③甲状腺、性腺防护用品应不小于 0.5mmPb； ④移动防护铅屏风铅当量应不小于 2mmPb。			

10.2.1.3 核医学科辐射安全防护措施

（1）警告设施

莆田学院附属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 PET-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，工作状态指示灯与机房门有效关联，只有机房门关闭的时候才会灯亮，设备仅在防护门关闭时可开启，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 PET-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室、注射室、药后观察室 1、药后观察室 2、留观/抢救室、PET-CT 机房、各甲癌病房以及 PET-CT 区域和甲癌治疗区域的患者通道中设视频监控设备，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 40mmPb 的铅罐内， ^{18}F 放射性药物储存在 40mmPb 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医废间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 PET-CT 区域和甲癌治疗区域各场所的衰变桶中，其中 PET-CT 区域的放射性固体废物在当日工作结束后，收集至 PET-CT 区域东侧的医废间的衰变桶中贮存衰变；分装室的放射性固体废物收集至分装室废物间的衰

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医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 ^{18}F 的放射性废物在衰变桶中存放至少 30 天以上，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。

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，并及时做好相应的台账记录。

（6）药物分装

药物分装均在分装室的各手套箱内进行，1#手套箱、2#手套箱均为 50mmPb，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 7 套通风系统：

①药后观察 1、药后观察室 2、留观/抢救室、PET-CT 区域东侧医废间排风汇集于一个管道，后通过甲癌区域病人走道顶部的排风井直通楼顶；

②1#手套箱（内含活性炭过滤装置）单独设计一个排风管道，后通过储源室西侧走道顶部的排风井直通楼顶；

③2#手套箱（内含活性炭过滤装置）单独设计一个排风管道，后通过储源室西侧走道顶部的排风井直通楼顶；

④分装室区域的排风（包含卫生通过、注射室、储源）、分装室医废间、PET-CT 区域污洗暂存间汇集于一个管道，后通过甲癌区域病人走道顶部的排风井直通楼顶；

⑤甲癌治疗区的污被医废间单独设置一个管道，后通过储源室西侧走道顶部的排风井直通楼顶；

⑥甲功室、甲癌治疗区域的病房、污洗间排风汇集于一个排风管道，后通过甲癌区域病人走道顶部的排风井直通楼顶。

⑦PET-CT 机房单独设计一个排风管道，后通过甲癌区域病人走道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，7 套通风系统均设置防回风阀，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，其中 2 个手套箱内风速不小于 0.5m/s。7 套通风系统最终经楼顶的活性炭过滤装置处理后，通过 7 个高出屋脊的排放口排放。活性炭过滤装置更换下来的活性炭直接收集至医废间内的衰变桶中，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。

（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区和各出入口设置卫生通过间，并在缓冲区内配备可更换衣物、防护用品、冲洗设施及剂量率检测仪表，在 PET-CT 区域和甲癌治疗区域的出入口处分别配备 1 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 PET-CT 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 PET-CT 区域注射室、药后观察室 1、药后观察室 2、留观室和医废间、污洗暂存间等区域产生的放射性废水，通过支管道汇集到主管道后，排入核医学大楼负一层南侧衰变池间的 1#槽式放射性废液衰变池中，放射性废水涉及的主要放射性核素为 ^{18}F ；项目各甲癌病房和污被医废间、污洗间、备餐间产生的放射性废水，通过支管道汇集到主管道，后排入核医学大楼负一层南侧衰变池间的 2#槽式放射性废液衰变池中，放射性废水涉及的主要放射性核素为 ^{131}I 。项目 2 套槽式放射性废液衰变池均为地埋式，上方为景观公园。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、铅帽等个人防护用品（均为 0.5mmPb）7 套，同时配备一次性放射性污染防护服若干、2 台便携式辐射监测仪、7 枚个人剂量计和 2 台 α/β 表面沾污仪。此外，医院拟在 PET-CT 区域配备 1 个防护提盒（3mmPb）、2 个注射器防护套（2mmPb），在甲癌治疗区域每间甲癌病房的 2 张病床中间各配备 1 个移动铅屏风（20mmPb），共 3 个移动铅屏风，在分装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 2 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，核医学科工作人员与放射性核素保持尽可能大的距离。

（4）核医学科工作人员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。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。此外，工作人员将及时对各甲癌患者服药剂量和出院时体内放射性活度进行记录，并做好相应台账。

目前，医院已制定相关核医学科操作规程及防护制度，本项目核医学科建设完成后，工作人员需严格遵守操作规程进行操作。

10.2.1.5 DSA 辐射安全防护措施

10.2.1.5.1 辐射安全装置和保护措施

为保障 DSA 的安全运行，避免在开机期间人员误留或误入机房内而发生误照射事故，以及对工作人员和受检者的辐射防护，本项目拟建 DSA 机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

① DSA 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。本项目平开防护门设有自动闭门装置、电动推拉防护门拟设有防夹装置。

② DSA 机房、控制室内各设置 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 DSA 机房设置对讲装置，方便工作人员实时关注机房情况并与病人交流。

④ DSA 机房设置观察窗及视频监控系统，在控制室内可以观察到机房内的情况，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 机房内合理布局，手术床呈东西布置，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、窗和管线口位置；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 DSA 机房电缆线管采用“U”型方从地下穿过墙体。

10.2.1.5.2 介入医生及护士的管理措施

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，并且在曝光期间采用设备自带铅帘、移动铅防护屏风综合防护，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，医院在项目运行过程中还应严格落实以下要求：

（1）介入医生和护士的防护要求

① 提高辐射防护和诊疗技术水平，全面掌握辐射防护法规与技术知识，介入医生

和护士应取得国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址:<http://fushe.mec.gov.cn>）关于辐射安全与防护知识的学习、考试，取得合格证书后方可上岗；

② 结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施，以减少受照剂量；

③ 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；

④ 严格开展介入手术医生的个人剂量监测，发现问题及时调查、整改。

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：操作者穿戴铅衣、铅围领、铅帽、铅眼镜或铅面罩；处于生育年龄者还可加穿铅三角裤；使用床下铅帘及悬吊铅帘；重大手术需要技师、护师或其他人员在机房内时，除佩戴上述物品，医院为本项目配备铅屏风，让上述人员在屏风后待命，并做好其他个人防护。

10.3 辐射防护措施符合性分析

本项目核医学科、DSA 机房的辐射防护措施，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 II 类射线装置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 10.3.1~10.3.3。

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
《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)	(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) 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。	本项目属于 I 类核医学工作场所, 各功能室均采用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; 分装室设有 2 个手套箱; 本项目核医学科工作场所设置 7 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, 并要求在大水流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。	符合
	(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。 (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。	本项目属于乙级非密封物质工作场所, 分装室设有 1 个 50mmPb 的 1#手套箱和 1 个 50mmPb 的 2#手套箱, 药物操作均在分装室中完成; 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) 7 套, 同时配备放射性污染防护服若干、2 台便携式辐射监测仪、7 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 PET-CT 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 3 个移动铅屏风(20mmPb); 本项目使用的 ^{131}I 放射性药物储存在 40mmPb 的铅罐内, 其他非密封放射性药物均放置于手套箱内。	符合
	(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。 (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。	项目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 PET-CT 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。	符合
	(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。	本项目使用的 ^{131}I 放射性药物储存在 40mmPb 的铅罐内, 其他非密封放射性药物均放置于手套箱内。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室内,	符合

	(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。	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 PET-CT 区域和甲癌治疗区域各场所的衰变桶中，其中 PET-CT 区域给药后患者的放射性固体废物在当日工作结束后，收集至 PET-CT 区域东侧医废间的衰变桶中贮存衰变；分装室的放射性固体废物在当日工作结束后，收集至分装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医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 PET-CT 区域东侧的医废间和甲癌治疗区域的污被医废间中贮存衰变；本项目衰变桶均设有电离辐射警示标志。	
	扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	在 PET-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。	符合
	(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。 (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。	本项目通风气流流向遵循自监督区向控制区的方向设计，7 套独立的通风系统均设置防回风阀，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，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 7 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 7 个高出屋脊的排放口排放。	符合
《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)	放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	本项目放射性物质均存放在铅罐中，并分别暂存于分装室的 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，对储放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	符合

		应的台账记录。	
《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 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。	本项目分装室的 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 PET-CT 区域药后观察室 1、药后观察室 2、留观室和医废间、污洗暂存间等区域产生的放射性废水，通过支管道汇集到主管道后，排入核医学大楼负一层南侧衰变池间的 1#槽式放射性废液衰变池中；项目各甲癌病房和污被医废间、污洗间产生的放射性废水，通过支管道汇集到主管道，后排入核医学大楼负一层南侧衰变池间的 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，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室、注射室、药后观察室 1、药后观察室 2、留观/抢救室、PET-CT 机房、各甲癌病房以及 PET-CT 区域和甲癌治疗区域的患者通道中设视频监控设备，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。	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。活性炭过滤装置半年更换一次，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医废间的衰变桶中贮存衰变。	符合
	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。	甲癌治疗区域产生的放射性废水排入核医学大楼南侧衰变池间的 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。放射性的废水经 2#槽式放射性废液衰变池衰变 180 天，或暂存不满 180 天但监测	符合

		结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，可直接排入医院废水处理系统。	
	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。	项目分装室的 2#手套箱配备 ^{131}I 自动分装仪；服药区设视频监控设备；分装室设置卫生通过间，卫生通过间配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	符合
	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。	本项目设置甲癌病房供甲癌患者使用，甲癌病房 3 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。	符合
	病房中应配备对讲、监控等设施。	甲癌病房中配备对讲、监控等设施。	符合
	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。	甲癌患者使用过的被服置于甲癌治疗区域污洗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。	符合
	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。	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 PET-CT 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。	符合

表 10.3.2 PET-CT 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 PET-CT 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。	PET-CT 机房设计充分考虑邻室（含楼上楼下）及周围场所的人员防护和安全，PET-CT 机房四周和顶棚板采用混凝土+铅板方式进行防护。	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。	本项目 PET-CT 机房设置单独机房，PET-CT 机房有效使用面积为 54m ² ，最小单边为 7.2m。	符合
	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 PET-CT 机房四周墙体、顶板和底板的防护效果在 300mm 混凝土，门窗防护效果分别为 12mmPb 和 20mmPb，均大于铅当量 2.5mmPb 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	由类比和预测结果可知，PET-CT 在正常使用条件下，各机房周	符合

	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。	边的γ剂量率预测结果均满足不大于 2.5μSv/h 的要求。	
	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。	PET-CT 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。	PET-CT 内设置通风装置，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。	PET-CT 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 PET-CT 机房的防护门均设有自动闭门装置，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）7 套。	符合

表 10.3.3 DSA 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。	本项目手术床呈东西向布置，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。	符合
	单管头 X 射线设备：机房内最小有效使用面积 20m ² ，机房内最小单边长度 3.5m。	DSA 机房有效使用积为 57.1m ² ，机房内最小单边长度 7.1m。	符合
	C 形臂 X 射线设备机房：有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm。	机房屏蔽防护均满足有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm 的标准要求。	符合
	机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间。	理论计算和类比分析结果表明，医院 DSA 装置在正常使用条件下，机房周边各关注点剂量当量率均不大于 2.5μSv/h。	符合
	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。	机房均设计有观察窗、实时监控装置和对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察病人情况及防护门开闭情况，防止意外情	符合

		况的发生。	
	机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	已制定管理规程，要求机房内不堆放与放射诊断/介入治疗工作无关的杂物。	符合
	机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	机房内设置动力通风系统，并保持良好的通风。	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。	机房各防护门外表面均设置电离辐射警告标志；病人通道防护门上方均设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句；候诊区设置放射防护注意事项告知栏。	符合
	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。	机房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）曝光时自动关闭机房门；工作状态指示灯与病人通道防护门均设置门灯连锁装置，用于显示机房内设备运行状态。	符合
	电动推拉门宜设置防夹装置。	防护门（电动推拉门）设置防夹装置。	符合
	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。	受检者在机房外等候区候诊，不在机房内候诊；检查过程中，非特殊情况，陪检者不允许留在机房内。	符合
	根据工作内容，现场应配备不少于如下基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助设施： 工作人员个人防护用品：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。 工作人员辅助防护措施：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。 受检者：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。	工作人员个人防护用品：配备铅围裙、铅颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等； 工作人员辅助防护措施：DSA 设备自配备的配备铅悬挂防护屏、床侧防护帘、移动铅防护屏风等； 受检者及陪检者个人防护用品：配备铅围裙、铅颈套等。	符合

10.4 三废的治理

本次评价的 DSA 机属于利用 X 射线进行介入诊疗和摄影诊断的医用设备，只有在设备开机的状态下才产生 X 射线，项目无放射性废气、废水和固体废弃物产生。故三废主要分析核医学科项目产生的三废。

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、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、一次性餐具等被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 PET-CT 区域、分装室和 1#手套箱等通风系统的活性炭送至 PET-CT 区域的东侧医废间内经至少 30 天的贮存衰变，甲癌区域通风系统的活性炭送至甲癌治疗区域的污被医废间内经至少 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。核医学科产生的剩余放射性药物分别暂存于分装室的 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、一次性餐具等被非密封放射性物质污染的物品，主要产生于分装室、注射室、药后观察室 1、药后观察室 2、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，PET-CT 区域和分装室的放射性固体废物在当日工作结束后分别收集至 PET-CT 区域、分装室医废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医废间的衰变桶中贮存衰变，其中含 ^{18}F 的放射性废物在衰变桶中存放至少 30 天以上，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室、服药处、药后观察室 1、药后观察室 2、留观室、PET-CT 机房、患者走道、1#手套箱、2#手套箱、甲癌治疗区域的病房、污被医废间和分装室及其医废间等。本项目工作场所设置 7 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 7 个高出屋脊的排放口排放。本项目 PET-CT 区域产生的放射性废气产生的废活性炭收集至 PET-CT 区域东侧医废间衰变桶内贮存衰变，本项目甲癌区域产生的放射性废气产生的废活性炭收集至甲癌病房区域东侧污被医废间衰变桶内贮存衰变，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 ^{18}F 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，为地理式，均位于核医学大楼东南侧衰变池间内。1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，其中 3 个衰变池最小尺寸为 1.1m×3.45m×4.0m，约为 15.18m³，3 个交替使用；2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，其中 3 个衰变池最小尺寸为 5.60m×3.82m×4.0m，约为 85.56m³，3 个交替使用。项目衰变池间上方为本项目院区道路，衰变池间北墙采用 550mm 混凝土，东墙采用 550mm 混凝土，南墙采用 850mm 混凝土，西墙采用 900mm 混凝土，顶板采用 300mm 混凝土+5mmPb 防护铅板。衰变池间内设导流墙和集水沟，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。

本项目核医学科注射室、药后观察室 1、药后观察室 2、留观室和污洗间、医废间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。放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管。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，放射性污水首先流入废液沉淀池。该多功能沉淀槽自带双铰刀，一备一用，具备搅碎自冲避免堵塞，无需人工清理淤泥。经过充分的预处理破碎，将所有固形物打碎为悬浮状具有良好流动性的液体，替代了化粪池的沉淀作用，避免固形物沉积。废水进入 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、PET-CT 属于 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 DSA、PET-CT 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 PET-CT 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。

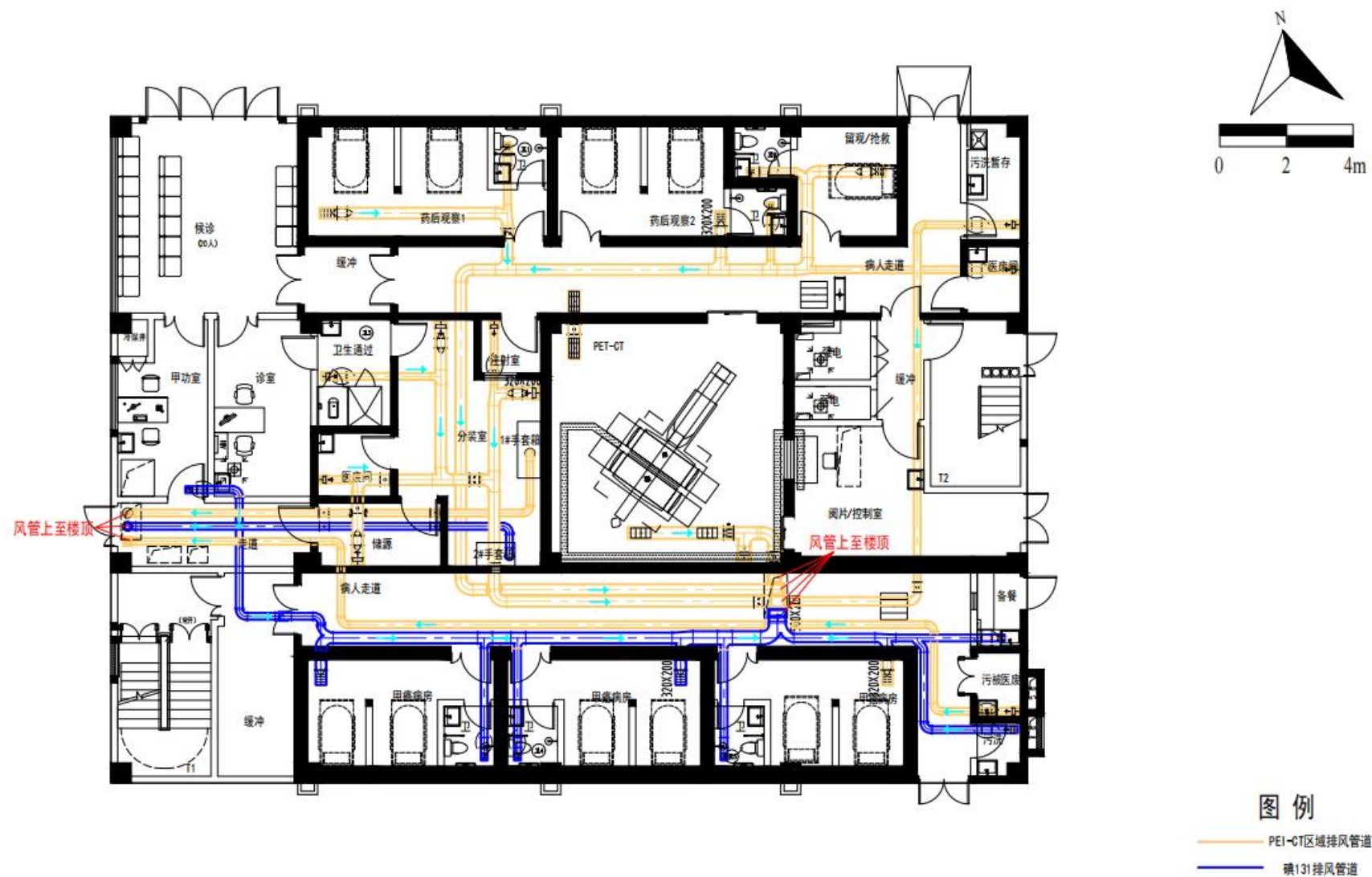


图 10.4-1 本项目核医学科排风管道布置图

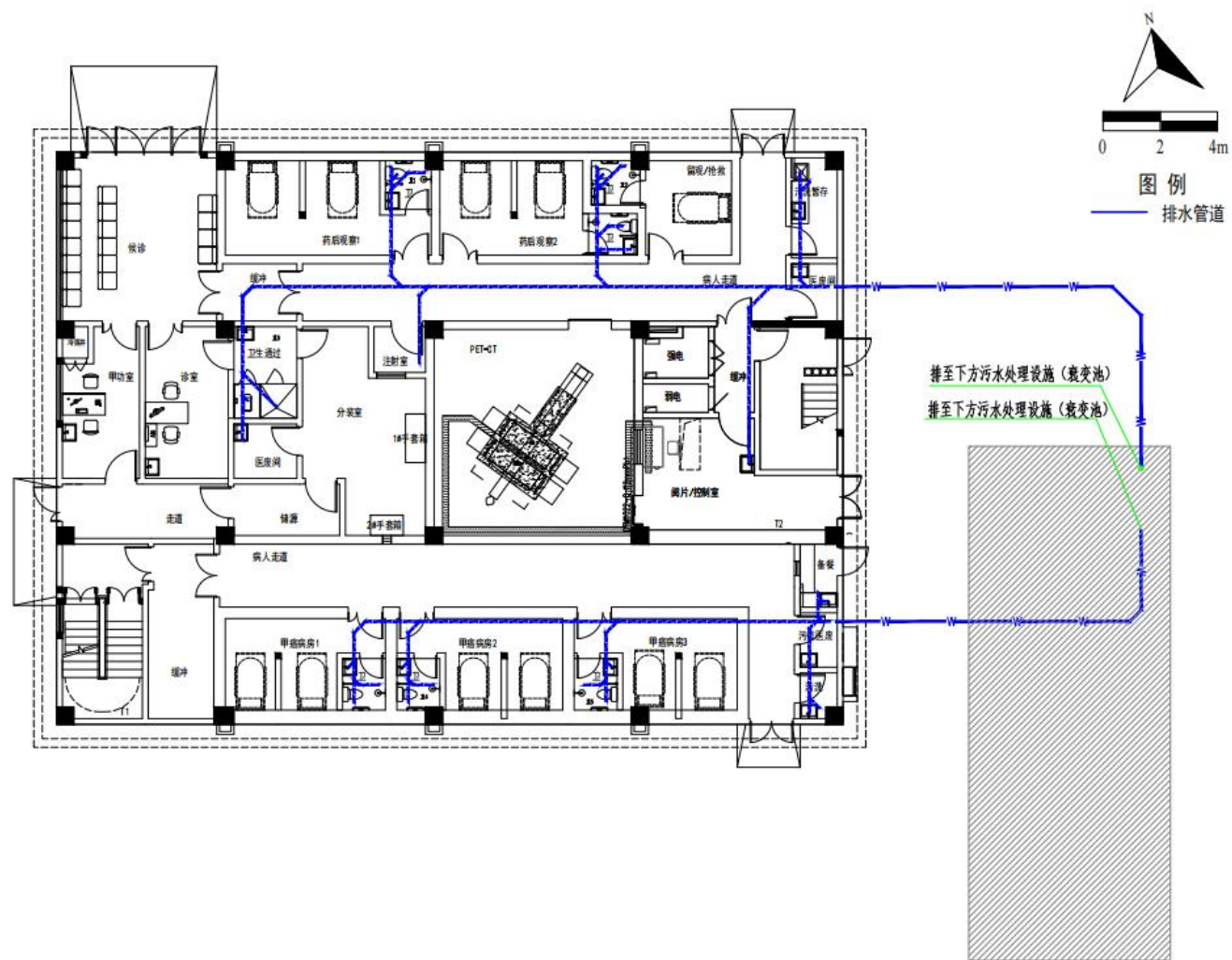


图 10.4-2 本项目核医学科排水管道布置图

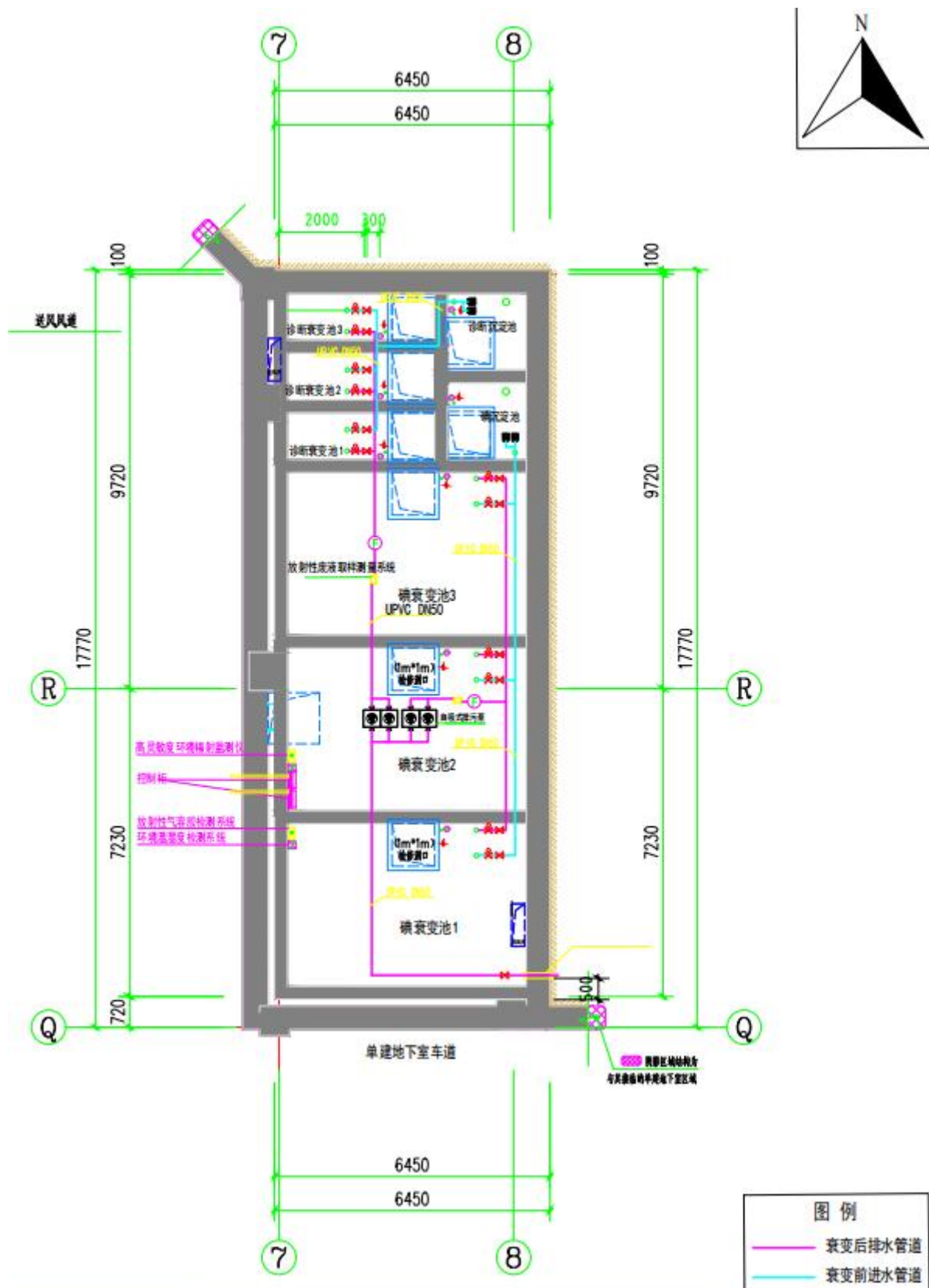


图 10.4-3 本项目槽式放射性废液衰变池设计图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目主要是在核医学科大楼和急重症诊疗中心大楼的主体建筑上，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，并在核医学科大楼南侧负一层衰变池间内设置 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，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，但随着施工的开始而结束。

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核医学大楼范围内，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物料。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物料应予以回收利用，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 X 射线、 γ 射线、 β 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)
^{18}F	10	370	7.40×10^3	1.85×10^6
^{131}I (甲功)	10	0.185	1.85	8.88×10^2
^{131}I (甲癌)	6	5550	3.33×10^4	1.59×10^6

*注：本项目 ^{18}F 一日送药 2 次，按保守估算，日最大操作量不少于病人实际注射量的 2 倍。

11.2.1.1 ^{18}F 的辐射影响分析

本项目 ^{18}F 核素主要考虑其发射的 γ 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，并对核素产生的环境影响进行分析。

(1) 估算模式

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：

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \times 10^{\frac{-x}{TVL}} \quad \text{式 (11-1)}$$

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为： ^{18}F 为 $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{MBq} \cdot \text{h})$ ；

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）；

本项目相应核素的半值层参考 GBZ 120-2020 中表 I.1：

^{18}F ——混凝土（密度为 2.35g/cm^3 ） $TVL=176\text{mm}$ ，铅（密度为 11.3g/cm^3 ） $TVL=16.6\text{mm}$ 。

（2）关注点辐射水平估算

本项目开展 PET-CT 显像的单名患者注射剂量最大的药物为 370MBq/人 （ 10mCi/人 ）的 ^{18}F 药物， ^{18}F 单日最大治疗规模为 10 人。本项目可能受到 ^{18}F 核素辐射影响的主要为注射室、分装室、手套箱、药后观察室、留观/抢救室、PET-CT 机房。计算公式见式（11-1），计算结果见表 11.2.4。

11.2.1.2 ^{131}I 的辐射影响分析

（1）关注点辐射水平估算

本评价主要考虑 ^{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，由于甲功用量使用极小，本项目主要分析甲癌患者使用 ^{131}I 药物时产生

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：

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

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单量率常数见表 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 11.2.3。

表 11.2.2 相应核素的周围剂量单量率常数

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

表 11.2.3 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 ）
^{131}I	170	11	240

本项目可能受到核素辐射影响的主要为分装室、甲癌患者走道、PET-CT 机房、服药处、甲癌病房。计算公式见式（11-2），计算结果见表 11.2.2。

表 11.2.4 操作核素 ^{18}F 时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	取值说明	衰减 距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果 (μSv/h)
分装室	3700 (¹⁸ F 一天 运输两次， 每次按半 日的 2 倍用 量运输， 3700MBq 为每次送 药最大剂 量)	手套箱表面 30cm 处操作位		手套箱尺寸为 170cm×70cm×220cm（长×宽× 高），药物在手套箱中间	0.65	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb	4.73×10 ⁻²
		手套箱表面 5cm 处			0.4		1.25×10 ⁻²
		北墙外 30cm	注射室	手套箱紧贴东墙放置，药物在 手套箱中间，距注射窗口外 30cm 处的最近距离	2.50	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb+200mm 混凝土 +4mmPb 铅板	1.34×10 ⁻⁵
		北墙注射窗 后 30cm	注射室	手套箱紧贴东墙放置，药物在 手套箱中间，距北墙外 30cm 处的最近距离	2.50	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb+40mmPb 注射 窗	1.25×10 ⁻⁶
		南墙外 30cm	甲癌病人走道	手套箱紧贴东墙放置，药物在 手套箱中间，距南墙外 30cm 处的最近距离	4.10	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb+300mm 混凝土 +4mmPb 铅板	5.00×10 ⁻⁶
		东墙外 30cm	PET-CT 机房	手套箱紧贴东墙放置，药物在 手套箱中间，距东墙外 30cm 处的最近距离	0.95	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb+200mm 混凝土 +4mmPb 铅板	9.31×10 ⁻⁵
		西墙外 30cm	医废间	手套箱紧贴东墙放置，药物在 手套箱中间，距西墙外 30cm 处的最近距离	4.25	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb+200mm 混凝土 +4mmPb 铅板	4.65×10 ⁻⁶
		西侧防护门 外	医废间	手套箱紧贴东墙放置，药物在 手套箱中间，距西侧防护门外 30cm 处的最近距离	4.25	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb+12mmPb 防护 门	2.15×10 ⁻⁵
		楼上 30cm	资料室	净空高度 5m, 药物距地面 1.1m,	4.50	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱	1.12×10 ⁻⁶

房间	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	衰减 距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
				楼板厚度 0.3m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 4.5m		50mmPb+300mm 混凝土 +3mmPb 铅板	
		楼下 30cm	停车场	地下楼板厚 0.3m, 药物距地面 1.1m, 则与楼下顶板 30cm 处的 距离为 1.7m	1.70	药物放置在 40mmPb 铅罐 +铅手套箱 50mmPb+300mm 混凝土 +30mm 硫酸钡砂	7.86×10^{-6}
注射室（单 名患者最大 剂量）	370	北墙外 30cm	病人走道	患者位于注射窗口 0.5m 处， 距北墙外 30cm 处的最近距离	2.00	200mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.64
		北侧防护门 外	病人走道	患者位于注射窗口 0.5m 处， 距北侧防护门外 30cm 处的最 近距离	2.00	15mmPb 防护门	1.65
		东墙外 30cm	PET-CT 机房	患者位于注射窗口 0.5m 处， 距东墙外 30cm 处的最近距离	1.70	300mm 混凝土	0.36
		南墙外 30cm	预留库房、核医学 科东侧过道	患者位于注射窗口 0.5m 处， 距南墙外 30cm 处的最近距离	1.20	200mm 混凝土+3mmPb 铅板	1.77
		南侧注射窗 外	核医学科东侧过 道	患者位于注射窗口外 0.5m 处， 距注射窗口内 30cm 处的最近 距离	1.10	40mmPb 铅玻璃	0.18
		西墙外 30cm	分装室	患者位于注射窗口 0.5m 处， 距西墙外 30cm 处的最近距离	1.10	200mm 混凝土+3mmPb 铅板	2.11
		楼上 30cm	资料室	净空高度 5m, 患者注射位置 距地面 0.8m, 楼板厚度 0.3m, 则与楼上地面 30cm 处的距离 为 4.8m	4.80	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.03
		楼下 30cm	停车场	地下楼板厚 0.3m, 患者注射位 置距地面 0.8m, 则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.4m	1.40	300mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡沙	0.31
药后观察室	370×2	北墙外	院内道路	按照两名患者在房间中央距北	2.25	300mm 混凝土+3mmPb	0.27

房间	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	衰减 距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1				墙外 30cm 处的最近距离		铅板	
		东墙外	药后观察室 2	按照两名患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	4.20	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.8
		南墙外	病人走道	按照两名患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	2.25	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.27
		南侧防护门外	病人走道	按照两名患者在房间中央距南侧防护门外 30cm 处的最近距离	3.70	12mmPb 防护门	1.46
		西墙外	候诊区	按照两名患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	4.20	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.78
		楼上 30cm	值班室	净空高度 5m, 患者距地面 0.8m, 楼板厚度 0.3m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 4.8m	4.80	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.78
		楼下 30cm	停车场	地下楼板厚 0.3m, 患者距地面 0.8m, 则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.4m	1.40	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂	0.42
药后观察室 2	370×2	北墙外 30cm	院内道路	按照两名患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	2.05	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.33
		东墙外 30cm	留观室	按照两名患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	2.90	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.16
		南侧防护门外	病人走道	按照两名患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	2.95	12mmPb	2.3
		南墙外 30cm	病人走道	按照两名患者在房间中央距南侧防护门外 30cm 处的最近距离	2.05	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.33
		西墙外 30cm	药后观察室 1	按照两名患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	2.90	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.16
		楼上 30cm	值班室	净空高度 5m, 患者距地面 0.8m, 楼板厚度 0.3m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 4.8m	4.80	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.06
		楼下 30cm	停车场	地下楼板厚 0.3m, 患者距地面 0.8m, 则与楼下顶板 30cm 处	1.40	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂	0.61

房间	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	衰减 距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
				的距离为 1.4m			
PET-CT 机 房	259（单名 患者注射 休息后体 内最大剂 量）	北墙外 30cm	病人走道	PET-CT 扫描床中心距北墙外 30cm 处的最近距离	4.90	300mm 混凝土	0.03
		北侧防护门	病人走道	PET-CT 扫描床中心距北侧防护 门外 30cm 处的最近距离	4.90	12mmPb	0.29
		东墙外 30cm	控制室/强电间/弱 电间	PET-CT 扫描床中心距东墙外 30cm 处的最近距离	4.70	300mm 混凝土	0.03
		东侧防护门 外	控制室	PET-CT 扫描床中心距东侧防护 门外 30cm 处的最近距离	4.70	12mmPb	0.32
		东侧防护窗 外	控制室	PET-CT 扫描床中心距东侧防护 窗外 30cm 处的最近距离	4.70	20mmPb	0.11
		南墙外 30cm	甲癌病人走道	PET-CT 扫描床中心距南墙外 30cm 处的最近距离	3.10	300mm 混凝土	0.08
		西墙外 30cm	分装室	PET-CT 扫描床中心距西墙外 30cm 处的最近距离	3.50	300mm 混凝土	0.06
		楼上 30cm	库房	净空高度 5m，PET-CT 扫描床 放置在距地面 0.5m 处，楼板 厚度 0.3m，则与楼上地面 30cm 处的距离为 5.1m	5.10	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.02
		楼下 30cm	院内停车场	地下楼板厚 0.3m，PET-CT 扫 描床放置在距地面 0.5m 处， 则与楼下顶板 30cm 处的距离 为 1.1m	1.10	300mm 混凝土+30mm 硫 酸钡砂	0.35
留观室	185（一名 患者体内 最多残余 剂量）	北墙外 30cm	院内道路	按照患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	2.25	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.07
		东墙外 30cm	药物准备区	按照患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	2.70	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.05
		南墙外 30cm	药物准备区	按照患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	2.25	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.07
		南侧防护门	病人走道	按照患者在房间中央距南侧防	2.25	12mmPb	0.99

房间	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	衰减 距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
		外		护门外 30cm 处的最近距离			
		西墙外 30cm	药后观察室 2	按照患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	2.30	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.06
		楼上 30cm	值班室	净空高度 5m，患者距地面 0.8m，楼板厚度 0.3m，则与楼上地面 30cm 处的距离为 4.8m	4.80	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.02
		楼下 30cm	停车场	地下楼板厚 0.3m，患者距地面 0.8m，则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.4m	1.40	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂	0.15

表 11.2.5 操作核素 ^{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	取值说明	距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果(μSv/h)
分装室	5550×6 (每次送药最大剂量)	手套箱表面 30cm 处操作位		手套箱尺寸为 115cm×70cm×200cm（长×宽×高），药物在手套箱中间	0.65	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb	3.09×10 ⁻⁵
		手套箱表面 5cm 处			0.4	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb	8.15×10 ⁻⁵
		北墙	注射室	手套箱紧贴南墙放置，药物在手套箱中间，距北墙外 30cm 处的最近距离	5.65	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+200mm 混凝土+3mmPb 铅板	1.45×10 ⁻⁸
		北侧注射窗外	注射室	手套箱紧贴南墙放置，药物在手套箱中间，距注射窗口外 30cm 处的最近距离	5.65	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+40mmPb	9.43×10 ⁻¹¹
		东墙	PET-CT 机房	手套箱紧贴南墙放置，药物在手套箱中间，距东墙外 30cm 处的最近距离	1.95	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+300mm 混凝土	5.89×10 ⁻⁸
		南墙	甲癌病人通道	手套箱紧贴南墙放置，药物在手套箱中间，距南墙外 30cm 处的最近距离	0.95	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+200mm 混凝土+4mmPb 铅板	4.16×10 ⁻⁷
		南侧服药窗	服药处	手套箱紧贴南墙放置，药物在手套箱中间，距服药窗口外	0.95	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+40mmPb 铅	3.34×10 ⁻⁹

房间/项目	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果($\mu\text{Sv/h}$)
				30cm 处的最近距离		玻璃	
		西墙	储源室	手套箱紧贴南墙放置, 药物在手套箱中间, 距西墙外 30cm 处的最近距离	1.95	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+200mm 混凝土+4mmPb 铅板	9.88×10^{-8}
		顶板上方	走道	净空高度 5m, 药物距地面 1.1m, 楼板厚度 0.3m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 4.5m	4.50	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+300mm 混凝土+3mmPb 铅板	5.91×10^{-9}
		底板下方	停车场	地下楼板厚 0.3m, 药物距地面 1.1m, 则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.4m	1.70	40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂	3.36×10^{-8}
服药处	5550	北墙	给药区	患者位于服药窗口 0.5m 处, 距北墙外 30cm 处的最近距离	1.32	300mm 混凝土+4mmPb 铅板	1.41
		北侧服药窗后	给药区	患者位于服药窗口 0.5m 处, 距北侧服药窗外 30cm 处的最近距离	1.80	40mmPb	0.02
		东墙	备餐区	患者位于服药窗口 0.5m 处, 距东墙外 30cm 处的最近距离	14.60	200mm 混凝土	2.09×10^{-5}
		东侧防护门	备餐区	患者位于服药窗口 0.5m 处, 距东侧防护门外 30cm 处的最近距离	14.60	12mmPb	0.10
		南墙	甲癌病房 1	患者位于服药窗口 0.5m 处, 距南墙外 30cm 处的最近距离	2.80	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.04
		南侧防护门	甲癌病房 1	患者位于服药窗口 0.5m 处, 距南侧防护门外 30cm 处的最近距离	2.40	20mmPb	0.87
		西墙	缓冲区	患者位于服药窗口 0.5m 处, 距西墙外 30cm 处的最近距离	6.30	200mm 混凝土	0.55

房间/项目	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果($\mu\text{Sv/h}$)
		西侧防护门	缓冲区	患者位于服药窗口 0.5m 处，距西侧防护门外 30cm 处的最近距离	6.30	20mmPb	0.13
		顶板上方	过道	净空高度 5m，患者服药位置距地面 0.8m，楼板厚度 0.3m，则与楼上地面 30cm 处的距离为 4.8m	4.80	300mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.13
		底板下方	停车场	地下楼板厚 0.3m，患者服药位置距地面 0.8m，则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.4m	1.40	300mm 混凝土+8mmpb 铅板	1.25
甲癌病房 1	5550×2	北墙	甲癌病人走道	按照患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	2.25	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.13
		北侧防护门	甲癌病人走道	按照患者在房间中央距北侧防护门外 30cm 处的最近距离	3.00	20mmPb	1.12
		东墙	甲癌病房 2	按照患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	3.45	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.06
		南墙	院内道路	按照患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	2.25	500mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.08
		西墙	缓冲区	按照患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	3.45	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.08
		顶板上方	办公室	净空高度 5m，甲癌病人床位放置在距地面 0.5m 处，楼板厚度 0.3m，则与楼上地面 30cm 处的距离为 5.1m	5.10	500mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.02
		底板下方	停车场	地下楼板厚 0.3m，甲癌病人床位放置在距地面 0.5m 处，则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.1m	1.10	300mm 混凝土+8mmpb 铅板	0.74
甲癌病房 2	5550×2	北墙	甲癌病人走道	按照患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	2.25	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.13
		北侧防护门	甲癌病人走道	按照患者在房间中央距北侧防	3.00	20mmPb	1.12

房间/项目	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果($\mu\text{Sv/h}$)
				护门外 30cm 处的最近距离			
		东墙	甲癌病房 3	按照患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	3.50	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.06
		南墙	院内道路	按照患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	2.25	500mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.08
		西墙	甲癌病房 1	按照患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	3.50	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.06
		顶板上方	活动间	净空高度 5m, 甲癌病人床位放置在距地面 0.5m 处, 楼板厚度 0.3m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 5.1m	5.10	500mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.02
		底板下方	停车场	地下楼板厚 0.3m, 甲癌病人床位放置在距地面 0.5m 处, 则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.1m	1.10	300mm 混凝土+8mmpb 铅板	0.74
甲癌病房 3	5550×2	北墙	甲癌病人走道	按照患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	2.25	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.13
		北侧防护门	甲癌病人走道	按照患者在房间中央距北侧防护门外 30cm 处的最近距离	3.00	20mmPb	1.12
		东墙	甲癌病人走道	按照患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	3.40	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.06
		南墙	院内道路	按照患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	2.25	500mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.08
		西墙	甲癌病房 2	按照患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	3.40	400mm 混凝土+7mmPb 铅板	0.06
		顶板上方	会议间	净空高度 5m, 甲癌病人床位放置在距地面 0.5m 处, 楼板厚度 0.3m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 5.1m	5.10	500mm 混凝土+3mmPb 铅板	0.02
		底板下方	停车场	地下楼板厚 0.3m, 甲癌病人床位放置在距地面 0.5m 处, 则	1.10	300mm 混凝土+8mmpb 铅板	0.74

房间/项目	源强(MBq)	位置	关注点名称	取值说明	距离(m)	屏蔽材料及厚度	估算结果($\mu\text{Sv/h}$)
				与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.1m			

从表 11.2.4、表 11.2.5 中可以看出，本项目核医学科操作核素 ^{18}F 和 ^{131}I 时，控制区防护门、窗、墙、顶、地面外的关注点辐射剂量率最大值为 $2.3\mu\text{Sv/h}$ （药后观察室 2 南侧防护门外 30cm 处，病人走道），所有控制区关注点辐射水平均未超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）对辐射工作场所的屏蔽要求“1）控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。2）控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ”。本次评价要求医院应严格按照设计文件安排各房间用途，不得随意变更各功能室作为其他房间使用，避免出现辐射剂量率、年有效剂量超标的情况。

（2）工作人员辐射剂量率预测

① PET-CT 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（ 5mmPb ）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（ 40mmPb ）对患者进行注射，注射过程药物距离身体约 50cm。

② PET-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。

③ 甲癌治疗区域核素操作人员分装过程：装有药品的铅罐（ 40mmPb ）装入分装室 2#手套箱（ 50mmPb ）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操作，工作人员身体躯干距离源按 1.0m 进行估算。

表 11.2.6 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	估算条件	活度 (Bq)	屏蔽措施	衰减距离 r (m)	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
取药	工作人员 (护士)	1 人次	3.70×10^8	0.5mmPb 铅衣 + 3mmPb 防护套 + 5mmPb 注射器	0.5	27.8
注射		1 人次	3.70×10^8	0.5mmPb 铅衣 + 5mmPb 注射器 + 40mmPb 防护窗	0.5	0.384
摆位	工作人员 (技师)	1 人次	2.59×10^8	0.5mmPb 铅衣 + 10mmPb 铅屏	0.5	34.5
^{131}I 自动分	甲癌治疗区域核素操作	1 人次	5.55×10^9	0.5mmPb 铅衣 + 50mmPb 手套箱	0.5	7.83×10^{-6}

装	人员			+40mmPb 铅罐		
---	----	--	--	------------	--	--

从表中可以看出，工作人员在摆位和取药过程中，工作人员受到的辐射剂量也较大。

11.2.1.4 PET-CT 环境影响分析

本项目 PET-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 PET-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 11.2.7 和 11.2.8。

表 11.2.7 PET-CT 类比条件一览表

项目	类比对象	本项目 PET-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)	30cm 混凝土 (约合 3.7mmPb)	一致
顶板	10cm 混凝土+1.5mmPb 防护涂料 (约合 2.7mmPb)	300mm 混凝土+30mm 硫酸钡砂 (约合 7.7mmPb)	本项目优
防护门	3mmPb	12mmPb	本项目优
观察窗	3mmPb	20mmPb	本项目优

表 11.2.8 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 (μSv/h)		附加剂量率 (μSv/h)
		关机	开机	
1#	机房防护门外 30cm 处（上侧）	0.13	0.14	0.01
2#	机房防护门外 30cm 处（下侧）	0.12	0.15	0.03
3#	机房防护门外 30cm 处（左侧）	0.13	0.14	0.01
4#	机房防护门外 30cm 处（右侧）	0.13	0.17	0.04
5#	机房防护门外 30cm 处（中侧）	0.12	0.15	0.03
6#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（上侧）	0.13	0.17	0.04
7#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（下侧）	0.14	0.18	0.04
8#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（左侧）	0.16	0.14	0.00
9#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（右侧）	0.15	0.15	0.00
10#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（中侧）	0.13	0.14	0.01
11#	控制室操作位	0.15	0.17	0.02
12#	机房北墙外 30cm 处	0.14	0.14	0.00

13#		0.15	0.15	0.00
14#	机房东墙外 30cm 处	0.15	0.16	0.01
15#		0.16	0.18	0.02
16#	管线口	0.14	0.15	0.01
17#	机房正上方院内地面停车场离地 100cm 处	0.15	0.17	0.02
18#		0.15	0.18	0.03

由表 11.2.12 中可以看出，本项目 PET-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 0.04μSv/h，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

参考《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 11.2.9。

表 11.2.9 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	分装室、PET-CT 机房、阅片/控制室
公众人员	其他医护人员、其他工作人员、病人及病人家属	1	一层：候诊区、甲功室、药后观察室、诊室； 二层：资料室、办公室；
		1/20	一层：候诊区入口、强电间、弱电间； 二层：资料室、库房；
		1/40	负一层：地下停车场 一层：绿化带、院内道路；

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：

$$H = D_r \times T \times t \times U \quad \text{式 (11-3)}$$

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。

(1) 工作人员

本项目 PET 区域拟安排辐射工作人员 5 人：负责分装、注射的护士 3 人，负责扫描、摆位的技师 2 人；医院安排轮岗，轮流值班分摊注射以及扫描、摆位的工作量。因此本项目分装、注射工作人员工作时间为年诊断时间的 1/3，扫描、摆位工作人员工作时间为年诊断时间的 1/2。PET 区域每日最大诊断患者数量为 10 人，每周工作 5 天，每年工作 50 周，护士取药工作时间为 $2\text{min} \times 10 \text{人} \times 250 \text{天} = 83.3\text{h/a}$ ，注射工作时间为 $1\text{min} \times 10 \text{人} \times 250 \text{天} = 41.7\text{h/a}$ ，技师扫描工作时间为 $10\text{min} \times 10 \text{人} \times 250 \text{天} = 417\text{h/a}$ 。

^{131}I 治疗区域拟安排辐射工作人员 2 人，主要负责自动分装的操作和观察病人服药， ^{131}I 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。 ^{131}I 治疗区域每周最大接收病人为 6 人，每年工作 50 周，甲癌治疗区域操作人员工作时间为 $1\text{min} \times 6 \text{人} \times 50 \text{天} = 5\text{h/a}$ 。

表 11.2.10 本项目辐射工作人员年受照剂量计算一览表

序号	人员	环节	一次受照时间（min）	年照射时间（h/a）	吸收剂量率（μSv/h）	居留因子	年受照剂量（mSv/a）
1	护士	取药	2	83.3	27.8	1/3	0.772
2		注射	1	41.7	0.384	1/3	0.005
3		小计	/	/	/	/	0.777
4	技师	摆位	1	20.83①	34.5	1/2	0.359
5		扫描	10	417	0.32②	1/2	0.067
6		小计	/	/	/	/	0.426
PET 区域工作人员年受照剂量叠加合计							1.203
7	¹³¹ I 治疗区	自动分	1	5	7.83×10 ⁻⁶	1/2	1.96×10 ⁻⁸

	域操作人员	装					
--	-------	---	--	--	--	--	--

注：①按一半的病人需要摆位计， $1\text{min} \times 5\text{人} \times 250\text{天} = 20.83\text{h/a}$ ；②表 11.2.1 控制室最大预测值。

从预测结果看，本项目工作人员最大年吸收剂量为 1.203mSv，叠加上甲癌治疗区域操作人员，最大年吸收剂量为 1.203mSv，低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）提出的工作人员管理限值（5mSv/a）。

（2）公众

医院核医学科大楼及周边的公众受照剂量率根据表 11.2.4、表 11.2.5 相应预测点预测结果取值。

表 11.2.11 本项目周围公众年照射剂量计算一览表

公众		剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年辐照时间 (h)	居留 因子	年受照剂量 (mSv/a)
强电间、弱电间工作人员		0.03	2000	1/20	0.003
核医学科大楼 内的医护人员 和病人及其陪 护家属	核医学科候诊区入口	0.78	2000	1/20	0.078
	楼上办公室、活动室	0.02	6000	1/2	0.006
	楼上资料室、库房	0.04	2000	1/20	0.004
	楼下地下停车场	0.13	6000	1/40	0.0195
核医学科大楼北侧院内道路流动人员		0.33	2000	1/40	0.0165
核医学科大楼南侧绿化带流动人员		0.08	6000	1/40	0.012
核医学科大楼西侧院内道路流动人员		0.08	6000	1/40	0.012
核医学科大楼西侧停车场入口流动人员		0.08	6000	1/40	0.012
核医学科大楼东侧院内道路流动人员		0.06	6000	1/40	0.003

注：居留因子参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A 取值；受 PET-CT 区域影响的人员年辐照时间按照本项目年工作时间 250 天 $\times$ 8h 计，受甲癌治疗区域影响的人员按照 250 天 $\times$ 12h 计。

根据上表估算得，本项目公众年有效剂量最大为 0.078mSv，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（公众人员 0.1mSv/a）。

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。莆田学院附属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以及传递间等区域进行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。

11.2.1.7 核医学科患者出院影响分析

(1) ¹⁸F 注射后患者出院监督管理

医院应向 ¹⁸F 注射后出院患者提供辐射安全防护书面指导，应包含以下内容。

在出院 24 小时内：

①不乘坐公共交通工具，不前往人员密集的公共场所或者特殊人群（儿童、孕妇）聚集场所；

②饭前、便后用肥皂彻底洗手，避免用手直接接触食物；

③使用单独的碗、筷、水杯，餐后用洗涤剂清洗干净，避免与他人混用；

④衣物单独清洗；

⑤严禁随地吐痰。

(2) ¹³¹I 甲癌治疗出院患者体内放射性活度和周围剂量当量率

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，本项目接受 ¹³¹I 治疗的患者在出院时，体内放射性核素活度应符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关规定，具体如表 11.2.12 所示。

表 11.2.12 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	单人最大剂量（MBq/人）	患者出院时体内放射性活度要求（MBq）
¹³¹ I	5550	≤400

根据表 11.2.12 可知，本项目甲癌治疗区域出口检测缓冲区处设置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，并与出口门连锁，当甲癌患者需体内 ¹³¹I 活度低于 400MBq（对应 1m 处剂量率 23.3μGy/h）时，门锁打开，甲癌患者方可离开。

(3) ^{131}I 甲癌治疗出院患者出院监督管理

本项目核素治疗患者出院时，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。对本项目甲癌患者出院时的辐射防护书面指导还需包含《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的相关限制，具体如下表所示。

表 11.2.13 本项目核医学科甲癌患者出院后与同事和亲属接触的相关限制

不上班时间 (d)	与伴侣不同床 时间 (d)	限制与<2 岁儿童 接触的时间 (d)	限制与 2~5 岁儿童 接触的时间 (d)	限制与>5 岁儿童 接触的时间 (d)
12	23	24	21	17

表 11.2.14 本项目核医学科甲癌患者出门旅行的相关限制

离出院 的天数 (d)	离患者 1m 处的周 围剂量当量率近 似值 ($\mu\text{Sv/h}$)	自由行旅游	参团旅游
8	11.5	可以，但与同伴报出距离>1m	建议不参加
16	5.7	可以，但与同伴报出距离>1m	参加 3 天以内的短期旅游，但与 同伴报出距离>1m
24	2.8	可以	可以，但与同伴报出距离>1m
32	1.4	可以	可以

11.2.2 DSA 运行阶段对环境的影响

11.2.1 机房屏蔽符合性分析

本项目拟配备的 1 台 DSA 最大管电压不超过 125kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C，保守估计，125kV 下 13cm 混凝土相当于 1.49mmPb；本项目拟配备的 1 台 DSA 最大管电压不超过 125kV，机房采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11.2.15。

表 11.2.15 机房屏蔽符合性分析

项目		防护材料名称和厚度	设计铅当 量(mmPb)	标准要求	符合性
DSA 机 房	四周墙体	轻钢龙骨+4mmPb 铅板	4	有用线束 方向铅当 量 2.0mm， 非有用线 束方向铅 当量 2.0mm	符合
	顶棚	13cm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.49		符合
	地板	13cm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥	4.49		符合
	防护门	4mmPb 当量铅板	4		符合
	观察窗	4mmPb 当量铅玻璃	4		符合

从机房屏蔽措施符合性分析可知，本项目 DSA 扫描间的机房屏蔽防护措施均能

够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“C 型臂 X 射线设备机房，有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm 的标准要求”的要求。

11.2.2 DSA 运行阶段辐射影响分析

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，本次分析对 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 DSA 机房四面墙壁外表面 30cm 处、防护门外表面 30cm 处、观察窗外表面 30cm 处、机房正上方和机房正下方等区域作为本次评价的关注点，共计 9 个点位。关注点位置见图 11.2-1 至图 11.2-3 所示。

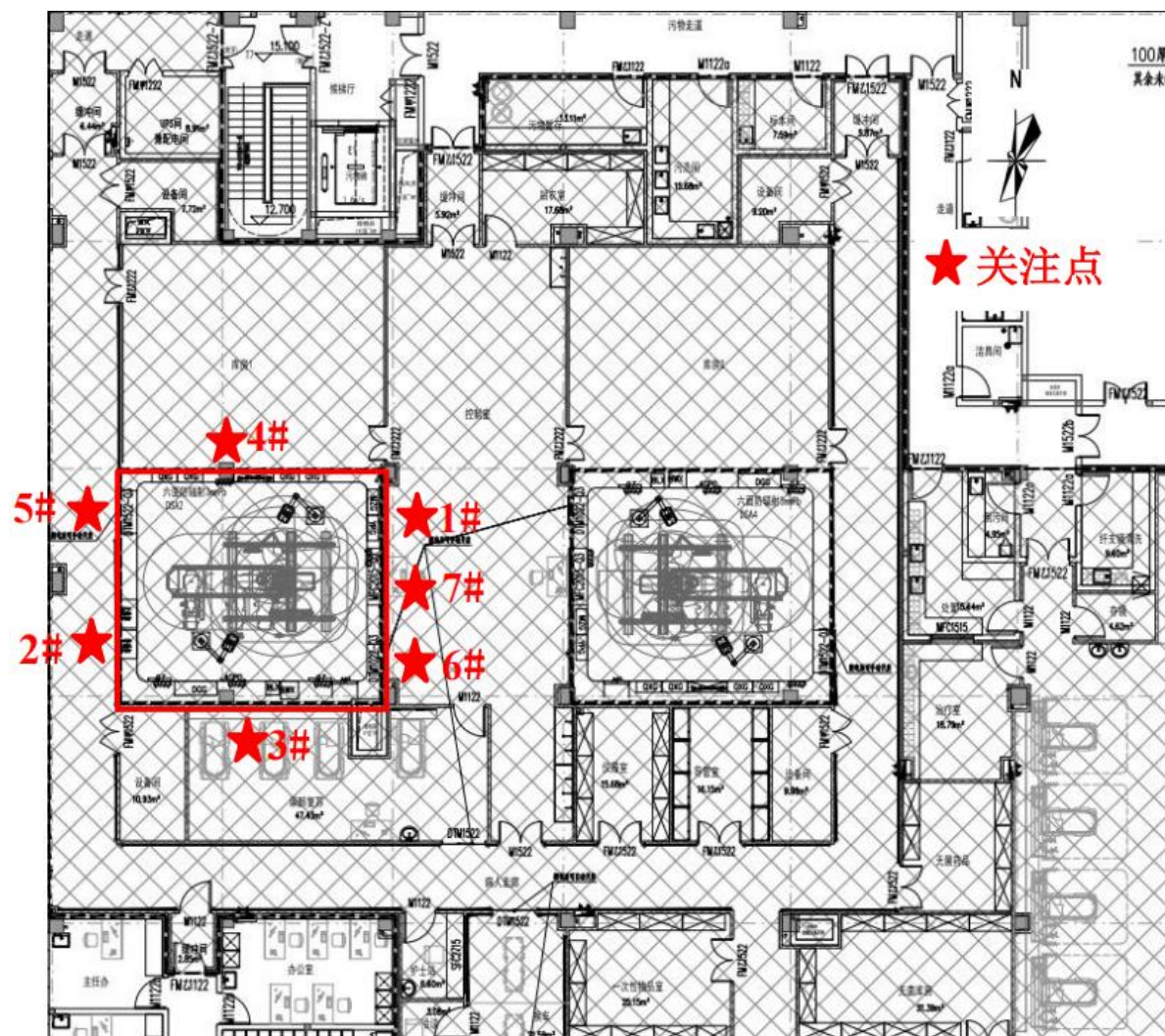


图 11.2-1 DSA 机房所在楼层关注点位置

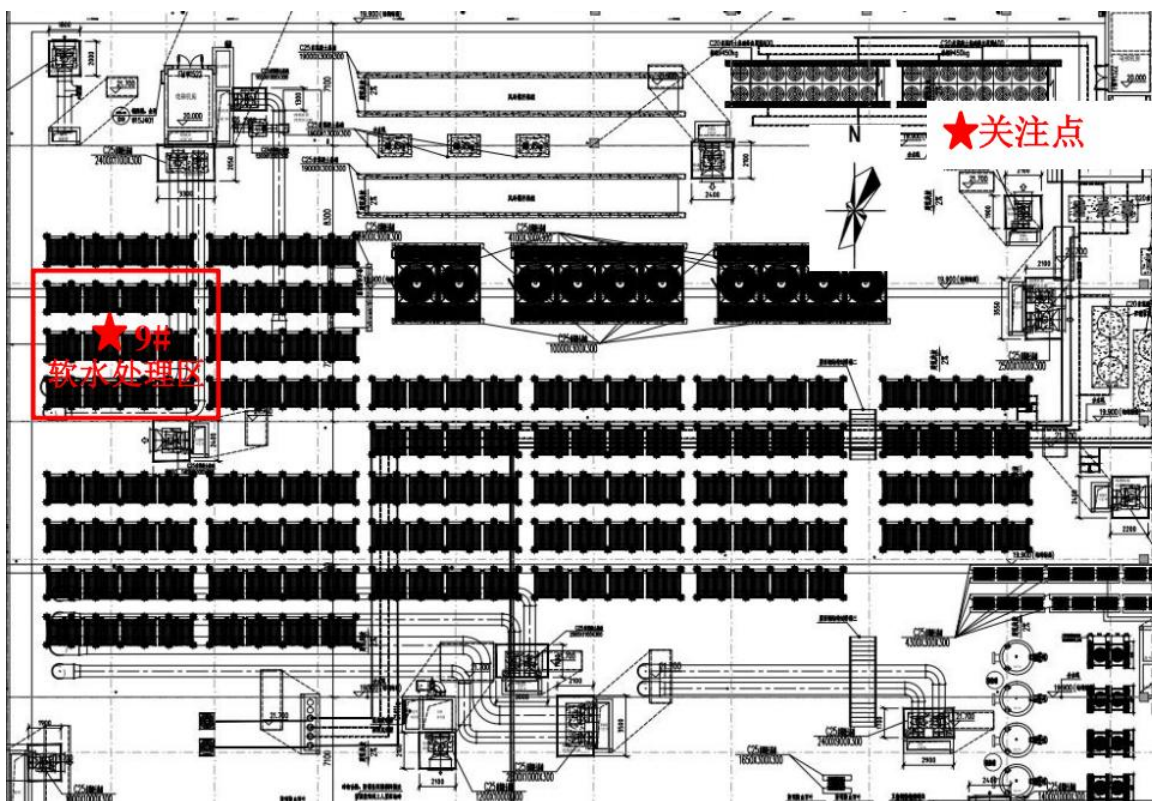


图 11.2-2 DSA 机房正上方关注点位置

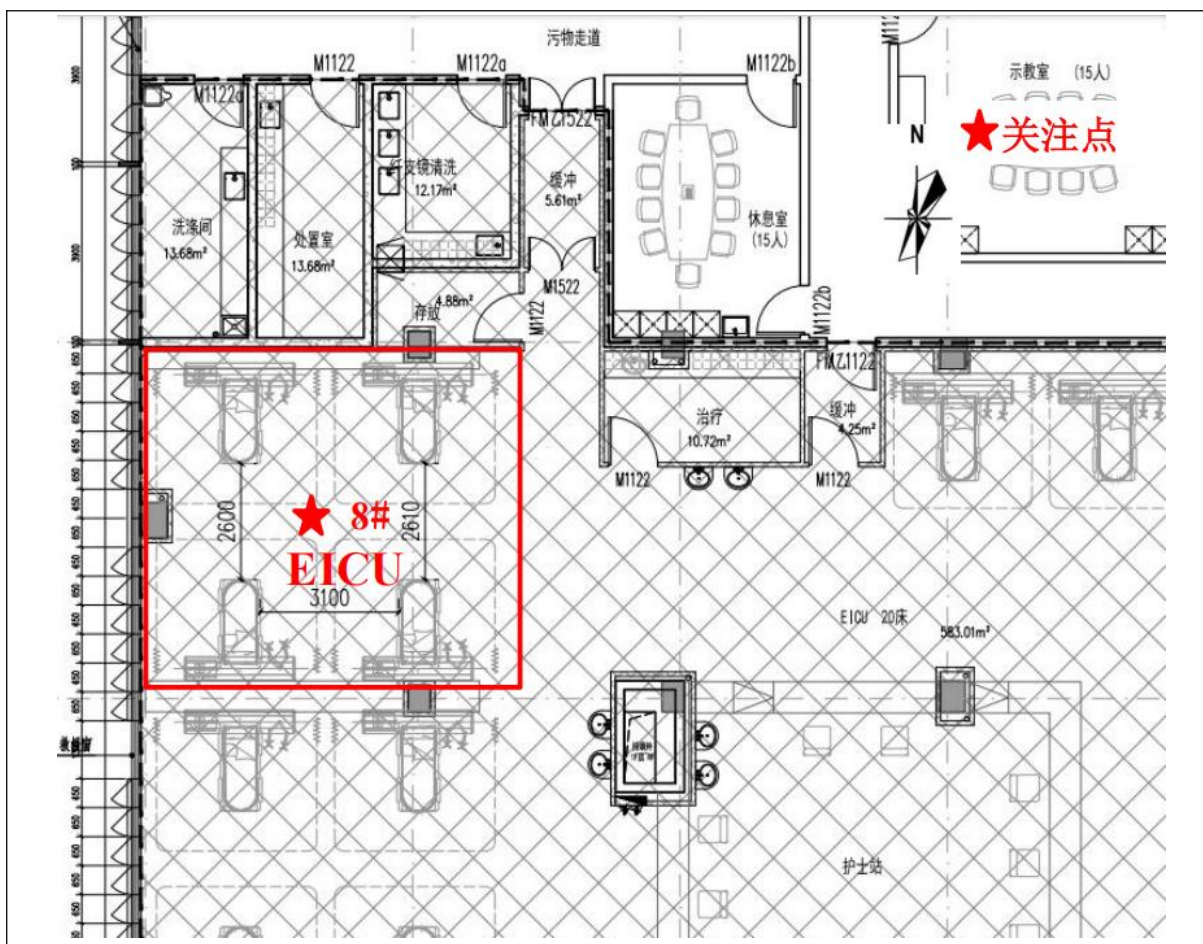


图 11.2-3 DSA 机房正下方关注点位置

11.2.2.1 机房周边剂量率

根据《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》（YYT 0740-2022）的章节 5.6.4，在管电压和管电流的任意组合下，透视入射空气比释动能率应不大于 88mGy/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：

$$\dot{H}_0 = \frac{\dot{H}_x \cdot r_1^2}{r_2^2} \quad \text{式 (11.2-1)}$$

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，88mGy/min=5280mGy/h；

r_1 —— 0.2m;

r_2 —— 机头至关注点的距离, 1m;

根据式 11.2-1 可得出透视工况下距离出束点 1m 处的主束辐射剂量率为 $2.112 \times 10^5 \mu\text{Gy/h} = 2.112 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$, 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 $\times$ 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 $1\text{Sv/h} = 1\text{Gy/h}$ 。

根据院方提供资料, 保守预估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 $1.056 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ 。

(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:

$$\dot{H}_z = \frac{\dot{H}_0 \cdot B \cdot f}{d^2} \quad \text{式 (11.2-2)}$$

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, 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 —— 设备射线泄漏率, 取 0.1%;

B —— 透射因子, 按照 GBZ 130-2020 附录 C 计算, 见式 (11.2-3);

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

式 (11.2-3)

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。

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 11.2.16。

表 11.2.16 透视状态下机房周围泄漏辐射剂量率

序号	关注点位置	屏蔽材料及厚度	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 ($\mu\text{Sv/h}$)
1 #	东墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	5.9	2.219	7.923	0.5386	8.42×10^{-6}	5.11×10^{-5}
2 #	西墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.2				8.42×10^{-6}	1.04×10^{-4}
3 #	南墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.4				8.42×10^{-6}	9.18×10^{-4}
4 #	北墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4				8.42×10^{-6}	1.11×10^{-4}
5 #	西北侧 防护门	4mmPb 铅板	4	5.5				8.42×10^{-6}	5.88×10^{-5}
6 #	东南侧 防护门	4mmPb 铅板	4	4.5				8.42×10^{-6}	8.75×10^{-5}
7 #	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	3.5				8.42×10^{-6}	1.45×10^{-4}

8 #	机房正 下方	13cm 混凝土 +3mmPb 硫酸 钡水泥	4.49	3				2.82×10^{-6}	6.62×10^{-5}
9 #	机房正 上方软 水处理	13cm 混凝土 +3mmPb 硫酸 钡水泥	4.49	3				2.82×10^{-6}	6.62×10^{-5}

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：

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha \cdot S}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot B \quad \text{式 (11.2-4)}$$

式中： $\dot{H}_s$ —— 散射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$ —— 距出束点 1m 处的剂量率水平，μGy/h；

α —— 受照射物体对入射 X 射线的散射比， $\alpha = a/400$ 其中 α 是相对于 400cm² 散射面积的受照物体对入射 X 射线的散射比，a 取 0.0015（90° 散射角），故 $\alpha = 3.75 \times 10^{-6}$ （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，cm²；此处取 400cm²；

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。

其他参数所代表意义同上。

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 11.2.17。

表 11.2.17 透视状态下机房周围散射辐射剂量率

序号	关注点位置	屏蔽材料及厚度	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 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#	东墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	5.9	2.333	7.888	0.7295	1.67×10^{-5}	3.79×10^{-3}
2#	西墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.2				1.67×10^{-5}	7.48×10^{-3}
3#	南墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.4				1.67×10^{-5}	6.82×10^{-3}
4#	北墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4				1.67×10^{-5}	8.25×10^{-3}
5#	西北侧防护门	4mmPb 铅板	4	5.5				1.67×10^{-5}	4.36×10^{-3}
6#	东南侧防护门	4mmPb 铅板	4	4.5				1.67×10^{-5}	6.52×10^{-3}
7#	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	3.5				1.67×10^{-5}	1.08×10^{-2}
8#	机房正下方 EICU	13cm 混凝土 + 3mmPb 硫酸钡水泥	4.49	3				1.67×10^{-5}	4.91×10^{-3}
9#	机房正上方软水处理区	13cm 混凝土 + 3mmPb 硫酸钡水泥	4.49	3				1.67×10^{-5}	4.91×10^{-3}

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 11.2.18。

表 11.2.18 透视工况下各关注点总剂量率

序号	关注点位置	泄漏辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽后关注点剂量率($\mu\text{Sv/h}$)
1	东墙外 30cm	5.11×10^{-5}	3.79×10^{-3}	3.84×10^{-3}
2	西墙外 30cm	1.04×10^{-4}	7.48×10^{-3}	7.58×10^{-3}
3	南墙外 30cm	9.18×10^{-4}	6.82×10^{-3}	7.73×10^{-3}
4	北墙外 30cm	1.11×10^{-4}	8.25×10^{-3}	8.36×10^{-3}
5	西北侧防护门 30cm	5.88×10^{-5}	4.36×10^{-3}	4.41×10^{-3}
6	东南侧防护门 30cm	8.75×10^{-5}	6.52×10^{-3}	6.61×10^{-3}
7	观察窗	1.45×10^{-4}	1.08×10^{-2}	1.09×10^{-2}
8	机房正下方 EICU	6.62×10^{-5}	4.91×10^{-3}	4.97×10^{-3}
9	机房正上方软水处理区	6.62×10^{-5}	4.91×10^{-3}	4.97×10^{-3}

(2) 摄影工况

① 泄漏辐射剂量率

根据公式 (11.2-2)、(11.2-3) 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 11.2.19。

表 11.2.19 摄影状态下机房周围泄漏辐射剂量率

点 位 编 号	关注点位置	屏蔽材料及厚度	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 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#	东墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	5.9	2.2 19	7.9 23	0.53 86	8.42×10^{-6}	2.55×10^{-3}
2#	西墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.2				8.42×10^{-6}	5.04×10^{-3}
3#	南墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.4				8.42×10^{-6}	4.59×10^{-3}
4#	北墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4				8.42×10^{-6}	5.56×10^{-3}

5#	西北侧防护门	4mmPb 铅板	4	5.5				8.42×10^{-6}	2.94×10^{-3}
6#	东南侧防护门	4mmPb 铅板	4	4.5				8.42×10^{-6}	4.39×10^{-3}
7#	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	3.5				8.42×10^{-6}	7.26×10^{-3}
8#	机房正下方 EICU	13cm 混凝土 + 3mmPb 硫酸钡水泥	4.49	3				2.82×10^{-6}	3.31×10^{-3}
9#	机房正上方软水处理区	13cm 混凝土 + 3mmPb 硫酸钡水泥	4.49	3				2.82×10^{-6}	3.31×10^{-3}

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

根据公式 11.2-4 计算得摄影状态下各关注点处散射剂量率, 计算结果见表 11.2.20。

表 11.2.20 摄影状态下机房周围散射辐射剂量率

序号	关注点位置	屏蔽材料及厚度	屏蔽折合铅当量 (mmPb)	ds (m)	α	β	γ	B 估算结果	H_S 估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#	东墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	5.9	2.3 33	7.8 88	0.7 295	1.67×10^{-5}	0.19
2#	西墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.2				1.67×10^{-5}	0.37
3#	南墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4.4				1.67×10^{-5}	0.34
4#	北墙外 30cm	4mmPb 铅板	4	4				1.67×10^{-5}	0.41

5#	西北侧防护门 30cm	4mmPb 铅板	4	5.5				1.67×10^{-5}	0.22
6#	东南侧防护门 30cm	4mmPb 铅板	4	4.5				1.67×10^{-5}	0.33
7#	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4	3.5				1.67×10^{-5}	0.54
8#	机房正下方 EICU	13cm 混凝土 + 3mmPb 硫酸钡水泥	4.49	3				5.58×10^{-6}	0.25
9#	机房正上方软水处理	13cm 混凝土 + 3mmPb 硫酸钡水泥	4.49	3				5.58×10^{-6}	0.25

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 11.2.21。

表 11.2.21 摄影工况下各关注点总剂量率

序号	关注点位置	泄漏辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽后关注点剂量率($\mu\text{Sv/h}$)
1	东墙外 30cm	2.55×10^{-3}	0.19	0.193
2	西墙外 30cm	5.04×10^{-3}	0.37	0.375
3	南墙外 30cm	4.59×10^{-3}	0.34	0.345
4	北墙外 30cm	5.56×10^{-3}	0.41	0.416
5	西北侧防护门 30cm	2.94×10^{-3}	0.22	0.223
6	东南侧防护门 30cm	4.39×10^{-3}	0.33	0.334
7	观察窗	7.26×10^{-3}	0.54	0.547
8	机房正下方 EICU	3.31×10^{-3}	0.25	0.253
9	机房正上方软水处理区	3.31×10^{-3}	0.25	0.253

(3) 小结

根据表 11.2.4 和表 11.2.7 估算结果可知, 本项目 DSA 在透视模式下, 机房外辐

射剂量率最大为 $1.08 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ；在摄影模式下，机房外辐射剂量率最大为 $0.547 \mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求，即机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.2.2 类比分析

(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 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 11.2.22。

表 11.2.22 DSA 项目类比情况一览表

	本项目	类比对象	备注
建设单位	莆田学院附属医院	宁波大学医学院附属医院	/
厂家、型号	西门子 Artis zee ceiling MAX	飞利浦 Allura xper FD20	/
最大管电压 (kV)/最大管电 流 (mA)	125kV, 1000mA	125kV, 1250mA	最大管电流 小于类比项目
屏蔽墙	轻钢龙骨+4mmPb 铅板 (4mmPb)	24cm 水泥实心砖+1mmPb 当量 硫酸钡涂料 (2.89mmPb)	优于类比项目
防护门	4mmPb 铅板	3mmPb 铅板	优于类比项目
观察窗	4mmPb 铅玻璃	3mmPb 铅玻璃	优于类比项目
顶棚	13cm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡水泥 (4.49mmPb)	15cm 混凝土+1mmPb 当量硫酸 钡涂料 (2.72mmPb)	优于类比项目
底板	13cm 混凝土+3mmPb 硫酸 钡水泥 (4.49mmPb)	15cm 混凝土+1mmPb 当量硫酸 钡涂料 (2.72mmPb)	优于类比项目
DSA 机房 尺寸	最小单边长度为 7.1m，有 效使用面积约为 57.1m ² 。	最小单边长度为 5.4m，内净面 积约为 37.8m ² 。	优于类比项目

(2) 类比可行性分析

①本项目 DSA 的最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA，小于类比 DSA 技术参数，且正常开机工况基本相同；

②本项目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本项目机房的最小单边长度及有效使用面积均大于类比对象；

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，宁波大学医学院附属医院 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

宁波大学医学院附属医院于 2016 年 9 月委托浙江中一检测研究院股份有限公司对医院 Allura xper FD20 型 DSA 进行了验收监测，并编制了建设项目竣工环境保护验收监测表，报告编号为：中一辐验字（2016）第（040）号，验收监测结果见表 11.2.9，监测点位见图 11.2-4。

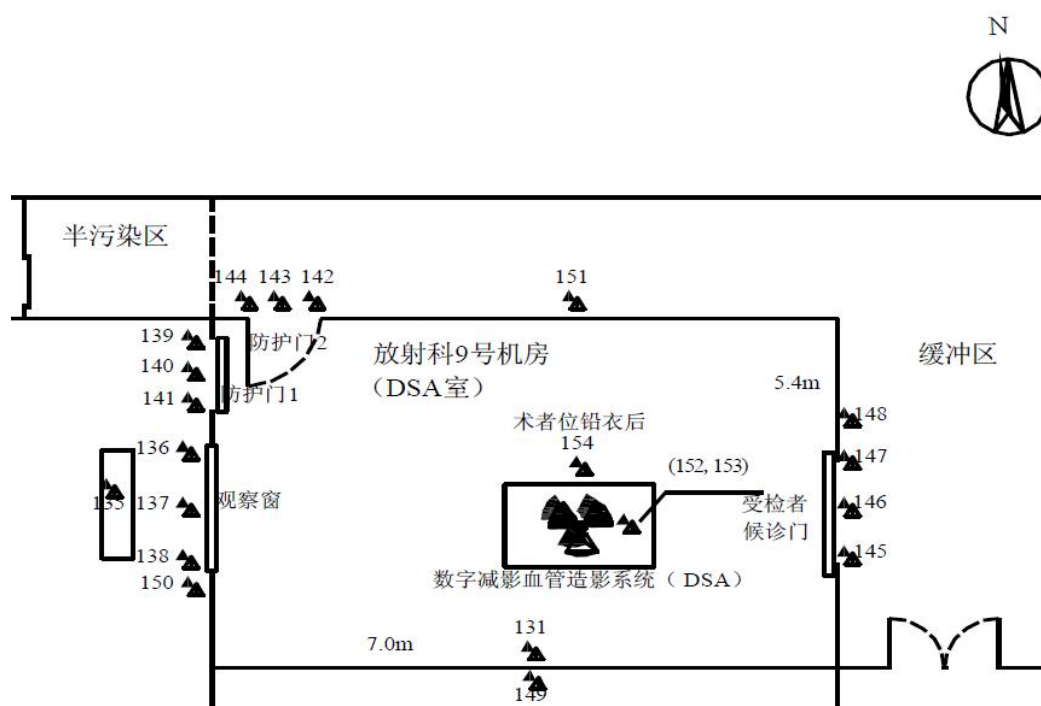


图 11.2-4 宁波大学医学院附属医院 Allura xper FD20 型 DSA 验收监测点位图

表 11.2.23 宁波大学医学院附属医院 Allura xper FD20 型 DSA 监测结果

点号	监测点位置	监测结果（nSv/h）		备注
		射线装置 未运行时	射线装置 运行时	
135	工作人员操作位	135	137	摄影工况： 91kV、53mAs
136	观察窗（左侧）外表面 30cm	140	143	
137	观察窗（中部）外表面 30cm	139	140	
138	观察窗（右侧）外表面 30cm	141	144	

139	防护门 1（左侧）外表面 30cm	142	144
140	防护门 1（中部）外表面 30cm	142	140
141	防护门 1（右侧）外表面 30cm	141	141
142	防护门 2（左侧）外表面 30cm	140	144
143	防护门 2（中部）外表面 30cm	140	145
144	防护门 2（右侧）外表面 30cm	141	141
145	受检者候诊门（左侧）外表面 30cm	139	144
146	受检者候诊门（中部）外表面 30cm	142	142
147	受检者候诊门（右侧）外表面 30cm	137	143
148	东墙外表面 30cm	145	148
149	南墙外表面 30cm	147	146
150	西墙外表面 30cm	143	153
151	北墙外表面 30cm	147	152
152	机房楼上（三层）距地坪 30cm	148	147
153	机房楼下（一层）距地坪 170cm	144	152

从表 11.2.3 监测结果可知，宁波大学医学院附属医院 Allura xper FD20 型 DSA 正常工作时，机房周围剂量率为（137~153）nSv/h，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。根据类比可行性分析可推测，本项目机房周围环境辐射水平也能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

11.2.3 年附加有效剂量估算

11.2.3.1 辐射工作人员附加年有效剂量

（1）医生和护士

进行介入手术时，至少需 1 名医生和 1 名护士在机房内对患者进行手术。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 DSA 机房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 11.2.24。从表中可以看出浙江医院 DSA 最大管电压和本项目相同，防护吊屏铅当量相同；其在检测时，DSA 均处于工作负荷较高水平，可以反映出机房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 11.2.24 机房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	本项目	类比对象	比较结果
运营单位	莆田学院附属医院	浙江医院	/
DSA 最大管电压	125kV	150kV	最大管电压小于类比项目
DSA 最大管电流	1000mA	1250mA	最大管电流小于类比项目
运行工况	摄影工况：管电压在 50~100kV 之间，管电流在 1~500mA 左右	检测时：摄影工况：管电压 119kV，管电流 619mA	管电压、管电流高于本项目摄影工况工作区间
防护吊屏铅当量 (mm)	0.5	0.5	相同

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。

工作人员和公众受到的附加年有效剂量采用下式估算：

$$HW = HR \times T \times t$$

式中，HW —— 年受照剂量；

HR —— 关注点附加剂量率；

t —— 曝光时间；

T —— 居留因子，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。职业人员全居留取 1。

根据医院安排，拟安排 10 名介入医生、护士，采取轮岗的形式在 DSA 机房进行检查和手术，保守估计，单名医生、护士年最大手术台数按参与设备全年手术计，即按 1000 台估算，每台手术平均透视 15min，摄影 3min，则 DSA 机房内工作人员附加年有效剂量估算见表 11.2.25。

表 11.2.25 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	6.55	250	1	1.64
摄影	6.55	50	1	0.33
合计	/	300	/	1.97

注：一般情况下，摄影工况下剂量率相较透视工况下大，本项目按保守考虑，附加剂量率均取 $6.55 \mu\text{Sv/h}$ 。

从表中可以看出，机房内辐射工作人员年受照剂量为 1.97mSv/a ，满足《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 5mSv/a 。

（2）控制室工作人员

本次预测取透视时周围环境最大剂量率（ $1.08 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ）和摄影时周围环境最大剂量率（ $0.547 \mu\text{Sv/h}$ ），预测控制室工作人员年附加剂量。根据医院安排，控制室工作人员 4 人，实行轮岗，其年辐射量预测结果见表 11.2.26。

表 11.2.26 控制室工作人员附加年有效剂量估算

工作情况	附加剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	曝光时间 (h)	居留因子	年受照剂量 (mSv/a)
透视	1.08×10^{-2}	250	1/2	1.35×10^{-3}
摄影	0.547	50	1/2	1.37×10^{-2}
合计	/	300	/	1.51×10^{-2}

从表中可以看出，控制室工作人员年受照剂量为 $1.51 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足《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 5mSv/a 。

11.2.3.2 公众附加年有效剂量

DSA 机房周边公众的居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 取值，全居留取 1，部分居留取 1/2~1/5，偶然居留取 1/8~1/40。本次预测取透视时周围环境最大剂量率（ $1.08 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ）和摄影时周围环境最大剂量率（ $0.547 \mu\text{Sv/h}$ ），作为附加剂量率进行预测。预测结果见表 11.2.27。

表 11.2.27 公众辐射剂量估算一览表

环境保护对象	位置	居留因子	附加年有效剂量 (mSv/a)
医院其他工作人员	机房西侧（走道）	1/8	1.89×10^{-3}
	机房南侧（设备间、麻醉复苏间）	1/8	1.89×10^{-3}
	机房北侧（库房）	1/8	1.89×10^{-3}
	西北侧防护门外	1/8	1.89×10^{-3}
	东南侧防护门外	1/8	1.89×10^{-3}
	机房正上方软水处理区	1	1.51×10^{-2}
	机房正下方 EICU	1	1.51×10^{-2}

从表中可以看出，项目周围公众年受照剂量为 $1.89 \times 10^{-3} \text{mSv/a} \sim 1.51 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足《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 0.1mSv/a 。

由此看，本项目 DSA 运行不会对周边公众产生影响。

11.2.3 三废的环境影响分析

11.2.3.1 放射性废水环境影响分析

项目放射性废水主要为在核医学科项目 ^{18}F 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，PET-CT 区域缓冲间、卫生通过间、药后观察室 1、药后观察室 2、留观室和医废间、污洗暂存间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。

本项目核医学科的 ^{18}F 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 $15 \text{L/人} \cdot \text{d}$ ，项目 ^{18}F 诊断患者总计 10 人/d，则患者单日平均用水总量为 $0.15 \text{m}^3/\text{d}$ 。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 $8 \text{L/人} \cdot \text{d}$ ，本项目核医学科 PET-CT 区域共配有 5 名辐射工作人员，按最大保守估计工作人员每天用水总量为 $0.04 \text{m}^3/\text{d}$ 。医护人员有时会因操作失误等产生清洗用水，PET-CT 区域的清洁用水量均按 20L/d 计，即 $0.02 \text{m}^3/\text{d}$ 。则项目排入 1#槽式放射性废液衰变池的放射性废水量约 $0.21 \text{m}^3/\text{d}$ 。

保守考虑，按患者最大允许用水量取废水产生量，即患者人均废水产生量按 150L/d 取。平均每天甲癌患者用水总量为 $0.9 \text{m}^3/\text{d}$ ；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 $0.048 \text{m}^3/\text{d}$ 。保守估计，每个治疗日项目排入 2#槽式放射性废液衰变池的放射性废水量约 $0.948 \text{m}^3/\text{d}$ 。

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 3 个衰变池，其中每级衰变池容积为 15.18m^3 ，有效容积按 90%计，每级衰变池有效容积为 13.66m^3 。由于 PET-CT 区域每周工作 5 天，排入槽式衰变池内任一格的放射性废水均需再经过（2

格 $\times 13.66\text{m}^3$) $\div 0.21\text{m}^3 \times 7$ 天 $\div 5$ 天 = 182 天才会被排入医院污水管网, 衰变池容积满足 HJ 1188-2021 “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 天后可直接解控排放” 的放射性废水贮存要求。

2#槽式放射性废液衰变池包含 3 个衰变池, 其中衰变池最小容积为 85.56m^3 , 有效容积按 90% 计, 每级衰变池有效容积为 77m^3 , 甲癌病房每周工作 5 天, 排入 2#槽式衰变池内任一格的放射性废水均需再经过 (2 格 $\times 77\text{m}^3$) $\div 0.948\text{m}^3 \times 7$ 天 $\div 5$ 天 = 227 天才会被排入医院污水管网, 衰变池容积满足 HJ 1188-2021 “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)” 的放射性废水贮存要求。

因此, 本项目的 1#槽式放射性废水衰变池满足 HJ 1188-2021 “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 天后可直接解控排放” 的放射性废水贮存要求; 2#槽式放射性废水衰变池满足 HJ 1188-2021 “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)” 的放射性废水贮存要求。

11.2.3.2 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、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、一次性餐具等被非密封放射性物质污染的物品。

①PET-CT 区域:

(1) 产生于分装室的放射性废物

如一次性注射器、一次性手套等放射性废物放置在注射窗口旁一个容积 10L 的 20mm 铅当量的废物桶内(套有塑料袋)。每日工作结束后, 暂存于铅废物桶中的放射性废物, 在塑料袋写上核素名称及日期, 系好袋子后存放入分装室西侧的医废间, 分类按序存放, 暂存 30 天 ($T_{1/2} < 24\text{h}$ 的核素) 后, 确认满足清洁解控水平(经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, β 表面污染 $< 0.8\text{Bq/cm}^2$), 再作为医疗废物处置。

(2) 产生于其他区域的放射性废物

药后患者产生的一次性纸杯、擦拭纸张等放射性废物产生于药后观察室 1、药后观察室 2、留观/抢救室等, 医院在上述区域内各设置 1 个容积 10L 的 20mm 铅当量的废物桶(套有塑料袋), 共 3 个废物桶, 收集放射性固体废物。每日工作结束后, 暂

存于铅废物桶中的放射性废物，在塑料袋写上核素名称及日期，系好袋子后存放入 PET-CT 区域东侧的医废间，分类按序存放，暂存 30 天（ $T_{1/2} < 24h$ 的核素）后，确认满足清洁解控水平（经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染 $< 0.8Bq/cm^2$ ），再作为医疗废物处置。

（3）废活性炭

放射性废气排放管道中的活性炭每半年更换一次，更换下来的废下来的活性炭直接收集至 PET-CT 区域东侧医废间内的衰变桶中，贮存衰变，贮存衰变时间至少 30d，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）废物间衰变桶设置适宜性分析

本项目拟在分装室医废间设 2 个衰变桶、PET-CT 区域东侧医废间设 3 个衰变桶，尺寸约为 250mm（L） $\times$ 250mm（W） $\times$ 400mm（H），容积约为 25L。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），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。

本项目 ^{18}F 核素最大患者数总计 10 人/d，固废产生系数为 0.05kg/人次，PET-CT 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 ^{18}F 的放射性固体废物约 0.5kg/d（约合 1L/d），一个月保守按 23 个工作日计，可产生 23L 放射性废物。因此，废物间内每个 25L 衰变桶均可收集一个月的放射性废物，本项目每月 23 个工作日仅使用 1 个变桶即可，因此废物间内设 2 个 25L 衰变桶是合理的。另 1 个 25L 衰变桶专门用于暂存本项目 PET-CT 区域通风系统更换下的废活性炭（每半年更换一次，每次约产生 20L）。分装室医废间 2 个衰变桶、PET-CT 区域东侧医废间的 3 个衰变桶均能满足衰变 30d 的要求。

②甲癌治疗区域：

（1）产生于服药区和甲癌病房的放射性废物

甲癌治疗放射性废物主要产生于服药区和病房；服药区主要是盛放放射性药物的一次性杯子、擦拭纸；病房区产生的废物则有擦拭纸、食物残渣和饮用水包装物等。

医院拟配备 7 个 10L 的衰变桶（内部尺寸：100mm(L) $\times$ 100mm(W) $\times$ 100mm(H)，20mmPb）中，分置于服药区和各病床旁；病人喝药后的一次性杯子放入服药区的衰

变桶（20mmPb）内，住院期间产生的不易腐败的固废可放置在房间内的垃圾桶（20mmPb）中，餐盒等含有易腐败残渣的固废由病人自行送至污被医废间放入衰变桶内。一个批次病人出院后，由工作人员统一收集病房、服药区至污被医废间内衰变。污被医废间内设置 4 个容积 352L 的衰变桶（20mmPb，内部尺寸为长 1.1m，宽 0.4m，深 0.8m）和 1 个 162.5L 的衰变桶（内部尺寸为长、宽：0.5m，深 0.65m，20mmPb）堆放放射性废物和废活性炭。4 个 352L 的衰变桶轮流使用，确保每个衰变桶内的废物均能衰变满 180d 以上。通风系统过滤装置更换下来废活性炭放置于污被医废间的一个 162.5L 的衰变桶贮存衰变。本项目污被医废间长 1.9m，宽 1.3m，高 4.7m，可以容纳 4 个 352L 的衰变桶和 1 个 162.5L 的衰变桶。

（2）废活性炭

放射性废气排放管道中的活性炭每半年更换一次，更换下来的废下来的活性炭直接收集至甲癌病房污被医废间内的衰变桶中，贮存衰变，贮存衰变时间至少 180d，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。

（3）废物间衰变桶设置适宜性分析

^{131}I 核素最大患者数总计 6 人/d，每周接受患者 1 批次，每批次治疗时间为 5 天，每月 4 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、一次性杯子和一次性餐具等含 ^{131}I 的放射性固体废物约 15kg（约合 30L）。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医废间的 4 个衰变桶（352L/个，20mmPb）中贮存衰变。单个 352L 衰变桶可贮存含 ^{131}I 放射性固体废物约为 11.7 周（82 天），则当第 4 个 352L 衰变桶贮存满时，第 1 个 352L 衰变桶内放射性固体废物已贮存 35.1 周（246 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。

③剩余放射性药物

当日剩余的放射性药物暂存于分装室的 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。

④槽式放射性废液衰变池的污泥

本项目放射性生活污水中含有的污泥经衰变池前端废液沉淀池搅拌，其搅拌后混匀后排入衰变池中与污水一道衰变后排出，因此不另行分析其产生源项。

11.2.3.3 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 7 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，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，其中手套箱内风速不小于 0.5m/s。

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。

11.2.3.4 非放射性废气环境影响分析

项目 DSA、PET-CT 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 PET-CT 区域内设有排风管道，少量的臭氧和氮氧化物通过机房的通风系统引至核医学科大楼楼顶排出，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、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、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）控制室操作人员在病人及医护人员完成手术未离开时，失误操作给病人及

医护人员造成额外的照射。

(8) 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。

(9) 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弃物衰变桶中，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) 在衰变池靠近停车场的一侧设置防撞围栏，防止室内停车场的车辆不慎撞击衰变池间。

(7) 设备出现故障不得擅自修理，需由专业工程师进行该项工作。

(8) 定期维护保养设备，排除设备存在的安全隐患。

(9) 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

莆田学院附属医院为落实本院辐射安全防护管理制度，提高放射事件的应急处置水平，经研究，成立了以林伟为主任的辐射安全与环境保护管理领导小组，具体职责如下：

- （一）负责本单位辐射安全与环境保护日常管理工作；
- （二）负责辐射设备管理，环评、退役环评、环境保护竣工验收以及辐射安全许可证申请、变更、延续等相关工作开展；
- （三）负责辐射工作人员定期培训考核、健康体检和个人剂量监测等；
- （四）负责建立健全辐射安全与环境保护相关制度；
- （五）辐射安全与环境保护管理领导小组兼辐射事故应急处理工作领导小组，全面负责医院的辐射安全管理及相关工作，组织开展辐射事故的应急救援工作。负责编制审定辐射安全事故/事件应急预案，并组织演练。

12.2 辐射安全与防护培训、职业健康体检

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，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辐射安全培训。

本项目拟安排的辐射工作人员 17 人，均为新引进人员，在本项目获批后，应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应的培训，并通过考核后方可上岗；已获得辐射安全培训合格证书的工作人员每五年接受一次再培训。

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，每 3 个月检测一次，一年四次，并按时定期送检。检测结果抄录在《放射工作人员证》中。所有的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。

12.3 辐射安全管理规章制度

莆田学院附属医院成立了以林伟为主任的辐射安全与环境保护管理领导小组，制定了《DSA 操作规程》《辐射安全管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射设备

操作规程》《辐射设备监测维修制度》《辐射监测制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射防护和安全保卫制度》等辐射安全管理制度。

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。

莆田学院附属医院为本项目核医学科拟配备 2 台便携式辐射监测仪、7 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、铅帽等个人防护用品（均为 0.5mmPb）7 套、一次性放射性污染防护服若干，在分装室和甲癌治疗区域内分别配备 1 台固定式辐射监测仪，为 DSA 机项目工作人员拟配备铅衣、铅围裙、铅颈套、铅帽、铅围脖、铅眼镜（均为 0.5mmPb）、介入防护手套（0.025mmPb）、铅帽均 4 套，以及相对应的个人剂量计；为 DSA 机房受检者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb）；；为本项目 DSA 机房陪检者配备 1 件铅衣（0.5mmPb）、1 件铅围裙、1 件铅颈套。项目运行后医院定期对核医学科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 2024 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境周围辐射水平进行监测，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、 β 表面污染、总 β 。

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

莆田学院附属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 本项目核医学科辐射监测计划

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
敏感点	周围环境监测点位（参考图 8.2-7）	实测	辐射剂量率	每年 1 次委托有资质单位监测
污染物	2 套槽式放射性废液衰变池出口	实测	总 β	每次排入污水处理站前
	固废表面	实测	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	累积剂量	每季度 1 次委托有资质单位监测

表 12.3.2 本项目 DSA 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率
DSA 机房	防护情况	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	周围剂量当量率	每年 1 次委托有资质单位监测；每月 1 次设备科巡测
	安全联锁	实测并检查	安全	每次使用前
辐射工作人员		佩戴个人辐射剂量计	有效剂量	操作时每季度送检 1 次
日常监测		机房四周屏蔽墙外 30cm 处	周围剂量当量率	每年 1 次委托有资质单位监测
项目竣工环境保护验收监测		机房四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处，观察窗、楼上、楼下等及外环境	周围剂量当量率和 γ 辐射剂量率	本项目建成后

12.4 辐射事故应急处置

医院已制定基本满足《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》和《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》要求的辐射事故应急预案。辐射事故应急预案主要包括：

- （1）单位辐射项目基本情况；
- （2）应急管理机构以及职责分工；
- （3）辐射事故分级与类型；
- （4）辐射事故应急处理措施；

- (5) 辐射事故的报告；
- (6) 应急终止程序与后续整改；
- (7) 应急预案的管理；
- (8) 应急工作流程图及相关人员/部门联系电话；
- (9) 辐射事故初始报告表格式。

医院在持有辐射环境安全许可证期间，未发生辐射事故。

医院应加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演练，发现问题及时解决，尽可能避免辐射事故的发生。

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

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 12.5.1~12.5.2。

表 12.5.1 核医学科辐射环境保护“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、铅帽等个人防护用品（均为 0.5mmPb）7 套，一次性放射性污染防护服，同时配备 2 台便携式辐射监测仪、7 枚个人剂量计和 2 台 α/β 表面沾污仪； 在 PET-CT 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 3 个移动铅屏风（20mmPb）； 在 PET-CT 机房、分装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。	
	PET-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 PET-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室、注射室、药后观察室	

	1、药后观察室 2、留观/抢救室、PET-CT 机房、各甲癌病房以及 PET-CT 区域和甲癌治疗区域设视频监控设备，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	PET-CT 区域配置 4 个 10L 的衰变桶（20mmPb）、5 个 25L 的衰变桶（20mmPb）；甲癌治疗区域配置 7 个 10L 的衰变桶（20mmPb）、4 个 352L 的衰变桶（20mmPb）和 1 个 162.5L 的衰变桶（20mmPb），衰变桶必须有电离辐射警示标志，含 ^{18}F 的放射性废物在衰变桶中存放至少 30 天以上，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；当日剩余的放射性药物暂存于分装室的 2 个手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收；PET-CT 区域和 1#手套箱等通风系统的活性炭送至 PET-CT 区域东侧医废间的衰变桶内经至少 30 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；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医废间的衰变桶内经至少 180 天的贮存衰变，或暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平后作为一般医疗垃圾处理	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、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） 4、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）
放射性废水	本项目设置 2 套槽式放射性废液衰变池，为地埋式，均位于核医学大楼东南侧衰变池间内。1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，其中 3 个衰变池最小尺寸为 1.1m×3.45m×4.0m，约为 15.18m ³ ，3 个交替使用；2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，其中 3 个衰变池最小尺寸为 5.60m×3.82m×4.0m，约为 85.56m ³ ，3 个交替使用。项目衰变池间上方为本项目院区道路，衰变池间北墙采用 550mm 混凝土，东墙采用 550mm 混凝土，南墙采用 850mm 混凝土，西墙采用 900mm 混凝土，顶板采用 300mm 混凝土+5mmPb 防护铅板。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。	
放射性废气	工作场所设置 7 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，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，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 7 个高出屋脊的排放口排放。	
管理制度	辐射工作人员佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案。 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。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）
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	1、《电离辐射防护与辐

	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。	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 β 监测。	《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）

表 12.5.2 DSA 辐射环境保护“三同时”验收清单

项目	“三同时”验收内容	验收要求
防护措施	四周墙体：轻钢龙骨+4mmPb 铅板； 顶棚：13 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥； 地板：13cm 混凝土+3mmPb 硫酸钡水泥； 防护门：4mmPb 铅板； 观察窗：4mmPb 铅玻璃。	监测达标情况。 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目管理目标： 辐射环境剂量率控制水平： DSA 机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h ； 辐射剂量控制水平： 职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv 。
安全措施	（1）工作状态指示灯 DSA 机房病人通道防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与病人通道防护门设置门灯联锁装置，用于显示机房内设备运行状态。 （2）防夹和闭门装置 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，医护人员通道防护门（平开门）设置自动闭门装置。 （3）电离辐射警告标志 DSA 机房各防护门外表面均设置电离辐射警告标志。 （4）监控与对讲装置 DSA 机房设计有观察窗、实时监控装置和对讲装置，工作人员在控制室内可及时观察病人情况及防护门开闭情况，防止意外情况的发生。 （5）个人防护用品 医院为本项目辐射工作人员和受检者配备相应的个人防护用品与辅助防护设施。	检查落实情况。 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
通风措施	机房内设置动力通风系统，并保持良好的通风。	检查落实情况。 满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关通风

		要求。
人员配备	所有辐射工作人员上岗前均应参加生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的培训和学习，并通过考核；已获得辐射安全培训合格证书的工作人员每五年应接受一次再培训。	检查落实情况。 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中人员培训要求。
	所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过3个月）送有资质部门进行监测，医院建立个人累积剂量档案。	检查落实情况。 满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《职业性外照射个人监测规范》中个人剂量监测的要求。
	所有辐射工作人员均定期（间隔不超过2年）进行职业健康体检，医院建立职业健康监护档案。	检查落实情况。 满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中职业健康体检的要求。
监测仪器和防护用品	①医院拟配备了1个铅悬挂防护屏、1个床侧防护帘； ②医院拟为本项目DSA机房工作人员配备4套铅衣、4件铅围裙、4件铅颈套、4顶铅帽、4个铅围脖、4副铅眼镜（均为0.5mmPb）4副介入防护手套（0.025mmPb）、4个铅帽； ③医院拟为本项目DSA机房受检者配备1件铅围裙、1件铅颈套、1顶铅帽（均为0.5mmPb）； ④医院拟为本项目DSA机房陪检者配备1件铅衣（0.5mmPb）、1件铅围裙、1件铅颈套； ⑤医院根据辐射工作人员人数配备个人剂量计。。	检查落实情况。 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器和防护用品配备的要求。
管理措施	已制定了一系列辐射安全管理规章制度，主要包括：《DSA操作规程》《辐射安全管理制度》《辐射工作人员岗位职责》《辐射设备操作规程》《辐射设备监测维修制度》《辐射监测制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射防护和安全保卫制度》、辐射事故应急预案等。	检查落实情况。 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规中辐射安全管理的要求，满足本项目辐射工作需要。
环境监测	委托有资质的单位每年对DSA机房周围辐射环境进行检测。	/

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

莆田学院附属医院新院区位于福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号。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，莆田学院附属医院拟在新院区内新建核医学科及 1 台 DSA 机项目，用于开展医疗、教学、科研，提高医疗服务体系水平。具体建设内容为新增 1 台 PET-CT，使用非密封放射性物质 ^{18}F 用于显像诊断工作；新增 ^{131}I 用于甲功测定、甲癌治疗，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，并在负一层设置 2 套槽式放射性废液衰变池；在急重症诊疗中心大楼四层西北侧新建 DSA2 机房及其配套区域，拟使用 1 台医用数字减影血管造影机，DSA（型号：uAngio AVIVACE，主要参数：最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）用于放射诊断和介入治疗。

13.1.2 选址合理性分析

本项目核医学科位于新建一栋 2 层的核医学大楼，所涉及的 2 套槽式放射性废液衰变池设置于核医学大楼负一层的衰变池间内。项目核医学科位置独立，为独栋建筑，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，核医学科工作场所的排风口均高出核医学大楼的屋脊，已尽可能远离周边高层建筑，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的选址要求。

本项目 DSA 机房拟设于急重症诊疗中心大楼四层西北侧 DSA2 机房，工作场所相对独立，有单独的固定机房，与周边非放射性工作场所隔开，周边人员停留时间较短，DSA 机房大小、屏蔽物质厚度等符合相关标准要求；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。对机房外的公众和其他工作人员的辐射影响较小。

本项目辐射工作场所四周人员停留较少，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

由核医学科和 DSA 工作场所的辐射防护措施分析可知,本项目 DSA 机房、PET-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)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)以及和《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)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) 辐射安全管理

莆田学院附属医院已成立辐射安全与环境保护管理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 ^{18}F 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均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$; 满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号)对辐射工作场所的屏蔽要求“1) 控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$), 周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。2) 控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $< 1/2$),

如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ”。

本项目 DSA 机正常运行时，保守考虑叠加影响的情况下，DSA 工作人员职业照射和公众照射的最大年有效剂量值均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

本次莆田学院附属医院核医学科及 1 台 DSA 机项目运营后，本项目辐射工作人员年有效剂量、公众人员年有效剂量，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 ）。

（2）事故影响

在严格落实本报告提出的各项防护措施及《莆田学院附属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

本项目核医学科设置 2 套槽式放射性废液衰变池，为地埋式，均位于核医学大楼东南侧衰变池间内。1#槽式放射性废液衰变池包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，其中 3

个衰变池最小尺寸为 $1.1\text{m}\times 3.45\text{m}\times 4.0\text{m}$ ，约为 15.18m^3 ，3 个交替使用；2#槽式放射性废液衰变池包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，其中 3 个衰变池最小尺寸为 $5.60\text{m}\times 3.82\text{m}\times 4.0\text{m}$ ，约为 85.56m^3 ，3 个交替使用。项目衰变池间上方为本项目院区道路，衰变池间北墙采用 550mm 混凝土，东墙采用 550mm 混凝土，南墙采用 850mm 混凝土，西墙采用 900mm 混凝土，顶板采用 300mm 混凝土+5mmPb 防护铅板。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

本项目核医学科工作场所设置 7 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，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，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 7 个高出核医学科大楼屋脊的排放口排放，对环境的影响可接受。

③放射性固体废物

本项目核医学科使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性杯子、一次性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，PET-CT 区域和分装室的放射性固体废物在当日工作结束后收集至分装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医废间的衰变桶中贮存衰变，衰变桶必须有电离辐射警示标志，其中含 ^{18}F 的放射性废物在衰变桶中存放 30 天以上，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；当日剩余的放射性药物暂存于分装室的 2 个手套箱内，在当日工作结束后由厂家进行回收。

④非放射性废气

本项目 PET-CT 区域、甲癌治疗区域、DSA 区域均设有排风管道，少量的臭氧和氮氧化物通过机房的通风系统引至核医学科大楼和急重症诊疗中心大楼楼顶排出，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》（2024 年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号），本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“5、……高性能

医学影像设备……”以及“三十七、卫生健康”中的“1、……医疗卫生服务设施建设……”项目，因此莆田学院附属医院核医学科建设项目符合国家产业政策。

13.1.7 总结论

莆田学院附属医院核医学科及 1 台 DSA 机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

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