

# 核技术利用建设项目

## 漳浦县医院新建核医学项目 环境影响报告表

(公示稿)



# 核技术利用建设项目

## 漳浦县医院新建核医学项目 环境影响报告表

建设单位名称：漳浦县医院

建设单位法人代表（签名或签章）：黄志武

通讯地址：福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号

邮政编码：363299

联系人：许志冬

电子邮箱：455982686@qq.com

联系电话：13607599906

# 目 录

表1 项目基本情况 .....	1
表2 放射源 .....	17
表3 非密封放射性物质 .....	17
表4 射线装置 .....	18
表5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	19
表6 评价依据 .....	20
表7 保护目标与评价标准 .....	23
表8 环境质量和辐射现状 .....	40
表9 项目工程分析与源项 .....	43
表10 辐射安全与防护 .....	67
表11 环境影响分析 .....	94
表12 辐射安全管理 .....	123
表13 结论与建议 .....	128
表14 审批 .....	131
附件1 辐射安全许可证 .....	132
附件2 原有核技术利用项目批复及验收情况 .....	145
附件3 委托书 .....	158
附件4 辐射事故应急预案 .....	159
附件5 辐射防护相关管理制度 .....	173
附件6 辐射管理人员辐射安全与防护考核 .....	191
附件7 环境 $\gamma$ 辐射剂量率检测报告 .....	192

**表1 项目基本情况**

建设项目名称		漳浦县医院新建核医学项目			
建设单位		漳浦县医院			
法人代表	**	联系人	**	联系电话	**
注册地址	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路2号				
项目建设地点	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路2号				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	**	项目环保投资 (万元)	**	投资比例(环保 投资/总投资)	**
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m <sup>2</sup> )	950m <sup>2</sup>
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封 放射性 物质	<input type="checkbox"/> 生产	制备PET用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装 置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	无			
	<b>1.1 建设单位概况</b>				
<p>漳浦县医院是集“医疗、教学、科研、预防”为一体的三级综合性公立医院，是福建省区域医疗中心建设单位，是福建省公立医院高质量发展省级示范单位，被国家首批纳入“千县工程”县医院综合能力提升工作县医院名单，是漳州市市级文明单位。与福建医科大学附属协和医院共建医联体，与福建省肿瘤医院共建肿瘤专科医联体，与福建省孟超肝胆医院、厦门大学附属心血管病医院建立跨区域专科联盟。医院是省交通事故急救绿色通道定点医疗机构，是国际紧急救援中心网络医院。</p> <p>医院占地面积 120 亩，总建筑面积 86061 平方米，核定床位 800 张。全院干部职工 963 人，其中卫生技术人员 845 人，高级职称人员 111 名。医院党委下设 6 个党支</p>					

部，党员 207 人。医院年门急诊人次数 60 万余人次，出院人数 3.3 万余人次。

医院配备有万元以上医疗设备共 1280 台，总价值 2.3 亿元，设备包括医用直线加速器、1.5T 核磁共振、64 排 128 层多螺旋 CT、数字减影血管造影（DSA）、乳腺钼靶、自体血回输系统等，配备远程手术会诊系统和百级手术空气净化系统。医院现有临床科室 22 个、医技科室 13 个。医院耳鼻喉科被评为福建省省级临床重点专科，妇产科、骨科分别被评为福建省县级医院临床重点专科建设单位和培育单位，心血管内科、泌尿外科、病理科被评为市级临床重点专科，呼吸与危重症医学科被评为国家 PCCM 科规范化建设三级医院达标单位。

## 1.2 建设内容与项目由来

### 1.2.1 建设内容

为提升医院的医疗服务能力，优化医疗资源配置，加快构建优质医疗服务网络，医院拟新建教学科研楼（地上 6 层、地下 2 层），并于地下 1 层新建核医学科，该楼总建筑面积 8688m<sup>2</sup>，建筑总高度为 23.25 米。

为完善漳浦县医院放射诊疗服务能力，为广大患者提供更全面、更便捷的医疗服务，漳浦县医院拟新建教学科研楼并在负一层新建核医学工作场所。本项目详细建设内容如下：

#### （1）源项情况

本项目拟在教学科研楼负一层新建核医学科工作场所，作为核素诊断区域和核素治疗区域。

①核素诊断区域：工作场所拟配套使用 1 台 PET/CT 设备和 1 台 SPECT/CT 设备（均属于Ⅲ类射线装置），拟使用放射性核素 <sup>99m</sup>Tc、<sup>18</sup>F 和 <sup>68</sup>Ga 开展核医学显像诊断工作及 PET/CT 共配备 2 枚校准源（V类放射源）；

②核素治疗区域：拟使用放射性核素 <sup>131</sup>I 开展甲癌治疗、甲亢治疗；

③拟使用放射性核素 <sup>89</sup>Sr、<sup>153</sup>Sm 开展骨转移癌治疗；

④拟使用 <sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 敷贴器开展放射性敷贴治疗。

本项目辐射工作的种类和范围为使用Ⅲ类核医学科非密封放射性物质基本情况详见表1-1。

表1-1 本项目核医学科非密封放射性物质基本情况

核素种类	单人最大使用量 (Bq)	单日最多诊疗人数 (人)	年使用天数 (天)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq) *	用途	来源	
<sup>18</sup> F	5.55E+8	20	250	1.11E+10	2.78E+12	PET/CT显像	外购药物	
<sup>68</sup> Ga	3.70E+8	10	250	3.70E+09	9.25E+11	PET/CT显像		
<sup>99m</sup> Tc	9.25E+8	30	250	2.78E+10	6.95E+12	SPECT/CT显像		
<sup>131</sup> I	甲癌	7.40E+9	4/周	50	2.96E+10	1.48E+12		甲癌治疗
	甲亢	3.70E+8	10	250	3.70E+09	9.25E+11		甲亢治疗
<sup>89</sup> Sr	1.48E+8	2	250	2.96E+08	7.40E+10	骨转移癌治疗		
<sup>153</sup> Sm	1.85E+9	1	250	1.85E+09	4.63E+11	骨转移癌治疗		

表1-2 本项目核医学科拟购射线装置具体情况

设备名称	类别	数量 (台)	设备型号	CT球管最大管电压 (kV) *	CT球管最大管电流 (mA) *	使用场所	用途
PET/CT	III	1	待定	140	800	教学科研楼负一层核医学科PET/CT机房	显像诊断
SPECT/CT	III	1	待定	140	800	教学科研楼负一层核医学科SPECT/CT机房	显像诊断

表1-3 本项目核医学科日等效最大操作量核算

场所	核素名称	毒性分组	毒性组别修正因子	状态	操作方式	操作方式与状态修正因子	日最大操作量 (Bq) *	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级	
PET/CT显像	<sup>18</sup> F	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	1.11E+10	1.11E+07	乙级	
	<sup>68</sup> Ga	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	3.70E+09	3.70E+06		
SPECT/CT显像	<sup>99m</sup> Tc	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	2.78E+10	2.78E+07	乙级	
骨转移癌治疗	<sup>89</sup> Sr	中毒	0.1	液体	简单操作	1	2.96E+10	2.96E+09		
	<sup>153</sup> Sm	中毒	0.1	液体	简单操作	1	3.70E+09	3.70E+08		
核素治疗	<sup>131</sup> I	甲癌	中毒	0.1	液体	简单操作	1	2.96E+08	2.96E+07	乙级
		甲亢	中毒	0.1	液体	简单操作	1	1.85E+09	1.85E+08	

1.2.2项目由来

本项目性质为新建，根据《关于发布〈射线装置分类办法〉的公告》（原环保

部、原卫计委公告2017年第66号），本项目核医学科PET/CT、SPECT/CT均属于III类射线装置；根据《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环保总局公告 2005年第62号），根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），本项目拟建核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》等相关法律法规，漳浦县医院新建核医学项目应当开展环境影响评价，并编制环境影响报告表（核与辐射类），报福建省生态环境厅审批。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（2019年生态环境部令第9号）的要求，长润安测科技有限公司符合第九条第一款规定，不属于该条第二款所列单位，无该条第三款所列情形，评价单位有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受漳浦县医院的委托，长润安测科技有限公司组织技术人员在现场踏勘、监测和收集资料的基础上，整理编制完成了本项目环境影响报告表。

本项目评价因子包括：核医学场所运行期间产生的 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、X射线和放射性“三废”；本报告重点评价上述污染源项对职业人员、公众和周边环境所产生的辐射影响。

### **1.3 产业政策符合性及实践正当性**

#### **1.3.1 产业政策符合性**

本项目是利用放射性药物和医学影像设备开展放射诊疗工作，属于核技术在医学领域的运用。按照《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年12月1日经国家发展改革委第6次委务会通过，2023年12月27日国家发展改革委令第7号公布，自2024年2月1日起施行），本项目属于“第一类鼓励类”中的“十三、医药”中的“4、……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……”的项目，因此漳浦县医院核医学建设项目符合国家产业政策和发展规划。

本项目的建设将显著提升漳浦县医院的放射诊疗水平，进一步强化医疗资源配置，为周边地区群众提供更先进、更便捷的医疗服务，满足人民群众日益增长的医

疗服务需求。因此，本项目符合漳浦县当前的发展规划。

### 1.3.2 实践正当性分析

虽然各类放射诊疗设备、放射性药物在使用期间会对环境产生些许的辐射危害，但医院开展放射诊疗为国家和社会带来的利益将远大于其辐射危害。漳浦县医院在开展各类放射诊疗工作期间，将严格按照国家相关法律法规和标准要求，对辐射工作场所采取相应的辐射安全防护措施，建立健全各项辐射安全管理规章制度、操作规程和辐射事故应急预案。本项目的建设和运行对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其带来的社会利益和经济利益，因此本核技术利用项目符合“辐射实践的正当性”原则。

### 1.4 项目选址及周围环境

漳浦县医院位于漳浦县绥安镇中华路2号，医院东侧为金鹿路，南侧为中华路，西侧为德仙路，北侧为山体。漳浦县医院地理位置及医院范围示意图见图1-1~图1-2。

本项目建设地点位于漳浦县医院拟建教学科研楼（地上6层，地下2层），拟建的教学科研楼位于医院北侧，其东侧为综合服务楼，南侧为住院楼，西侧为儿科门诊，北侧为山体。本项目建设地点周围50m范围内主要为医院内部建筑物和道路、北侧山体上居民楼。本项目周围50m范围示意图及周围环境现状照片见图1-4、图7-1。

本项目核医学科工作场所位于教学科研楼负一层，选址相对独立。核医学科场所南侧、西侧和北侧均为土层，东侧为候诊区、诊室、医生办公和电梯厅等场所。核医学科楼上为影像科和办公场所，下方为预留后勤配套用房。本项目核医学科工作场所（教学科研楼负一层）及其上下方平面布局示意图见图1-5~图1-7。

本项目核医学科工作场所SPECT/CT显像诊断区域、PET/CT显像诊断区域和核素治疗区域均分开布置，拟设置的用房如下：

SPECT/CT显像诊断区域内主要辐射场所包括：分装注射室、废物间、运动负荷室、肺通气室、注射休息兼抢救室、2间VIP注射后休息室、SPECT/CT机房、留观室、污洗间、患者走廊。

PET/CT显像诊断区域内主要辐射场所包括：分装注射室、废物间、注射后休息

室、1间VIP注射后休息室、PET/CT机房、留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊。

核素治疗区域内主要辐射场所包括：分装室、废物间、病房1、病房2、抢救室、污被间、污洗间和患者走廊、敷贴治疗室。

拟建的2套槽式衰变池系统位于核医学科场所地下2层西南侧，其中：

短半衰期衰变池系统用于暂存显像诊断场所废水，衰变池设有1个沉淀池，设3个衰变槽轮流使用，单池有效容积为 $10\text{m}^3$ ，总容积为 $30\text{m}^3$ 。

长半衰期衰变池系统用于暂存核素治疗场所废水，衰变池设有1个沉淀池，设有3个衰变槽轮流使用，单池有效容积 $30\text{m}^3$ ，总容积为 $90\text{m}^3$ 。







图1-4 本项目周围环境现状照片

### 1.5 本项目人员配备情况

建设单位拟通过招聘和调配为本项目配置辐射工作人员，计划拟按照下表要求配置核医学科人员，详见表1-4。

**表1-4 本项目核医学科辐射工作人员配置计划**

建设内容	人员类别	具体工作内容	人员要求
核医学科	医师	阅片、影像诊断、报告出具、给出 <sup>131</sup> I处方剂量等	至少含2名取得核医学影像上岗资质并从事专业工作3年以上的高级专业技术职称医师
	技师	SPECT/CT患者摆位、设备操作	取得核医学影像上岗资质、具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
		PET/CT患者摆位、设备操作	
		分装仪操作、指导服药、废物管理	
	护士	<sup>18</sup> F外购药物交接、药物分装、注射，放射性废物管理，日常表污监测	具备相关专业知识和技术能力，并通过辐射安全与防护考核
		<sup>99m</sup> Tc分装和注射、锡气发生器操作、放射性废物管理，日常表污监测、患者预约登记	
患者预约登记、甲癌病房查房、放射性废物管理、出院后表污监测等			

辐射工作人员均需通过辐射安全与防护考核（网上考核），拟配置辐射工作人员均在本科室开展辐射工作，不跨科室，不从事其他类别的辐射工作。

### 1.6 原有核技术利用项目许可情况

#### (1) 许可情况

建设单位于2025年6月10日向福建省生态环境厅重新申请领取了辐射安全许可证，证书编号：闽环辐证[00331]（见附件1），许可种类和范围：使用II类、III类射线装置。证书有效期至：2026年08月26日。

#### (2) 环保手续履行情况

漳浦县医院原有核技术利用项目各辐射工作场所均已履行了环保手续，主要有：

①2019年医院对新增1台DSA编制了《漳浦县医院1台DSA机项目环境影响报告表》，并于2019年4月取得了福建省生态环境厅批文（闽环辐评〔2019〕13号）；并于同年通过了验收组验收。

②2023年医院对新增1台医用直线加速器编制了《漳浦县医院一台医用直线加速器项目环境影响报告表》并取得了福建省生态环境厅批文（闽环辐评〔2023〕22号），并于2023年委托陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司对漳浦县医院一台医用直线加速器项目开展了竣工环境保护验收，并于2023年12月通过了验收组验收。

③2025年医院对新增1台DSA机编制了《漳浦县医院新增1台DSA机项目环境影响报告表》，并于2025年3月取得了福建省生态环境厅批文（闽环辐评〔2025〕19号）；并于2025年8月编制了漳浦县医院新增1台DSA机项目开展了竣工环境保护验收，于2025年8月通过了验收组验收。

漳浦县医院原有核技术利用项目详见表 1-5。

表1-5 漳浦县医院原有在用射线装置一览表

序号	装置名称	型号	数量 (台)	场所	类别	环保手续情况
1	双能X射线骨密度仪	Horizon-Wi	1	120（一楼骨密度室）	III类	已备案登记并取得辐射安全许可证。
2	数字化X射线摄影系统	X1600	1	120急诊楼	III类	
3	X射线计算机体层摄影设备	Revolution Maxima	1	120急诊楼（一楼CT室）	III类	
4	数字化医用X射线摄影系统	MTP65-A	1	120急诊楼（一楼DR室）	III类	
5	数字减影血管造影X线机	INFX-9000C	1	门诊楼一楼导管介入室	II类	闽环辐评〔2019〕13号；已竣工验收。
6	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Smart 3D-Xs	1	门诊综合4楼口腔CT室	III类	已备案登记并取得辐射安全许可证。
7	口腔X射线机	CS2200	1	门诊综合4楼牙片室	III类	
8	数字医用诊断X线透视摄影	uDR588i	1	门诊综合大楼（一楼联影DR）	III类	
9	数字医用诊断X线透视摄影	Uni-Vision	1	门诊综合大楼（一楼胃肠）	III类	
10	乳腺X线摄影系统	GIOTTO IMAGE 3D	1	门诊综合大楼（一楼钼靶）	III类	
11	移动式C型臂X射线机	Cios Select sl	2	门诊综合楼4楼手术室	III类	
12	数字化移动式摄影X射线机	DP326B-2	1	门诊综合楼（移动DR）	III类	
13	医用血管造影X射线机（DSA）装置	Allia IGS Ultra	1	门诊综合楼四楼手术室DSA机房	II类	
14	医用直线加速器	Halcyon	1	医疗综合大楼地下一层放疗中心加速器治疗室	II类	闽环辐评〔2023〕22号；已竣工验收。
15	大孔径CT	SOMATOM go.sim	1	医疗综合大楼地下一层放疗中心模拟定位CT室	III类	已备案登记并取得辐射安全许可证。
16	数字化医用X射线摄影系统	DRX-Ascemd	1	综合大楼一楼CT室	III类	

17	移动式数字摄像X射线系统	MUX-100DJ	1	综合大楼一楼放射科	III类
18	X射线计算机体层摄影设备	Optima CT660	1	综合大楼一楼放射科	III类

### 1.7 原有核技术应用项目辐射安全管理情况

#### (1) 辐射防护管理机构

为了加强辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全管理领导小组（详见附件4）全面负责医院的放射防护监督和管理的工作。依据相关法律法规，医院负责编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，并于每年1月31日前上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。辐射工作人员在专职防护责任人的领导下进行日常放射工作，严格执行各项放射安全防护制度及安全操作规程，协助工程技术人员进行本科室机器的维修和保养工作，按照环境保护的监测规定，定期进行环保监测，发现问题立即停机并向上级汇报。

#### (2) 规章制度建设及落实情况

漳浦县医院已成立以院长黄志武为组长的辐射安全管理小组，全面负责医院辐射安全及应急管理工作。同时制定了《漳浦县医院关于成立辐射安全与防护管理领导小组成员的通知》《漳浦县医院辐射工作人员培训管理制度》《人员培训计划和监测计划》《辐射工作人员职业健康管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》《射线装置安全操作规程》《设备维修维护制度》《辐射事故应急预案》等相关制度，建设单位制定了《辐射事故应急预案》，并严格按照规章制度执行。

#### (3) 辐射工作人员培训情况

漳浦县医院现有辐射工作人员56名，所有辐射工作人员均已按照要求进行了辐射安全与防护培训并考核合格，并建立了相关档案资料。医院按要求每5年组织辐射工作人员进行复训，复训合格后方可继续从事辐射工作。建设单位辐射防护管理人员已通过辐射防护培训和考核并取得成绩合格证明。

#### (4) 个人剂量监测及职业健康检查情况

漳浦县医院所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计，个人剂量监测委托有资质单位承担，每季度监测一次。根据2024年10月1日至2025年9月30日的个人剂量监测报告，辐射工作人员个人剂量监测一年内最大年有效剂量为2.77mSv（余活泼，男），

低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的辐射工作人员剂量管理值5mSv/a的要求。

漳浦县医院目前所有辐射工作人员均按要求进行了职业健康检查。

#### （5）辐射防护用品配备情况

医院已为工作人员和受检者配备了必要的防护用品，包括铅衣26件、铅手套6双、铅围裙16件、铅帽6个、铅围脖18个等防护用品，配备了2台辐射剂量仪。

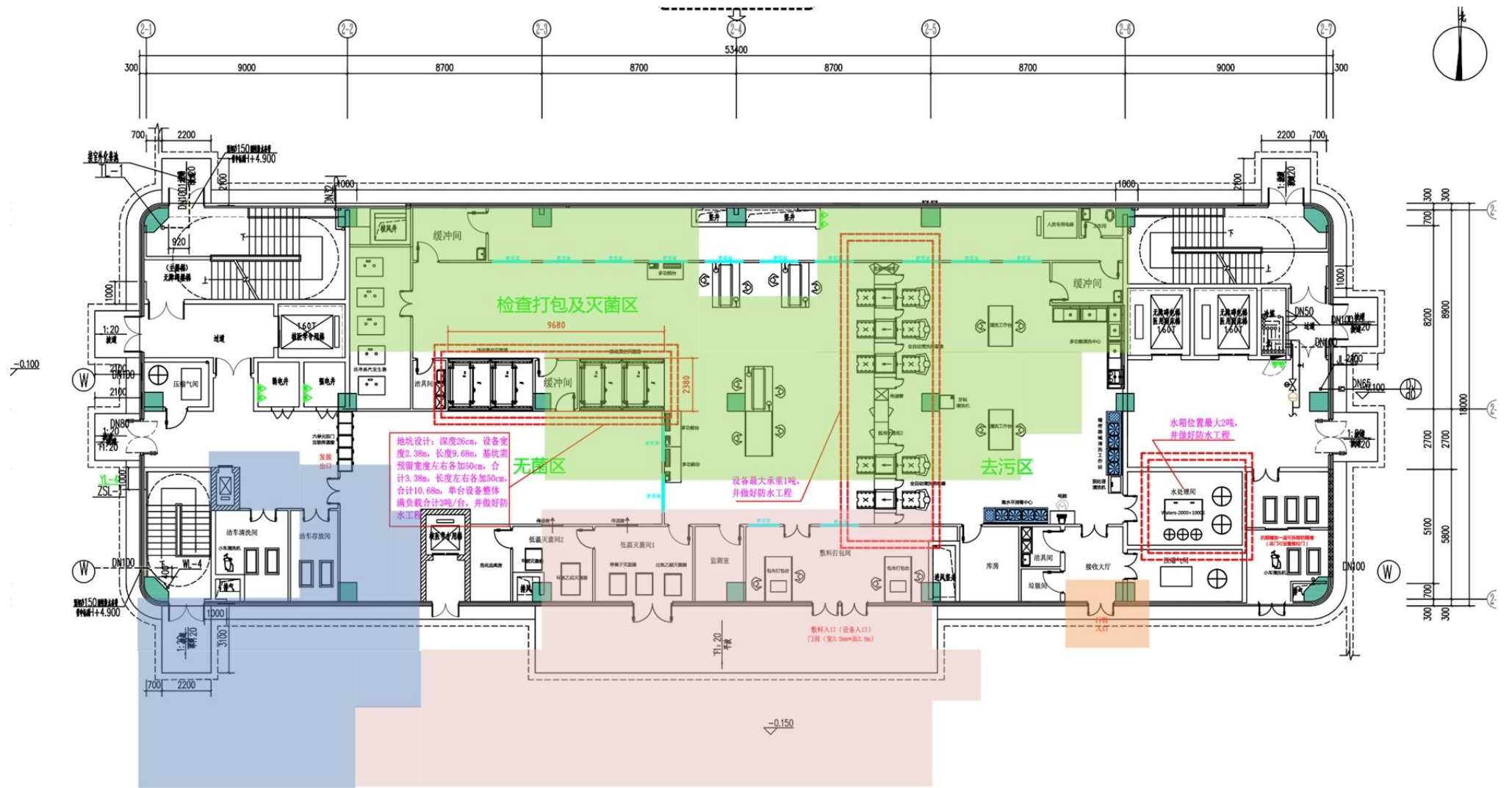
#### （6）工作场所及辐射环境监测情况

漳浦县医院每年委托有资质的监测单位对医院射线装置使用场所周围环境进行年度监测，并对监测报告记录存档。并向上级主管部门提交年度评估报告。

#### （7）辐射事故应急管理情况

依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，漳浦县医院制定了辐射事故应急预案，一旦发生辐射事故应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境管理部门报告。

自取得辐射安全许可证，建设单位运行至今未发生过事故。



图例： I-131治疗区域投影 敷贴治疗区域投影 PET区域投影 SPECT区域投影

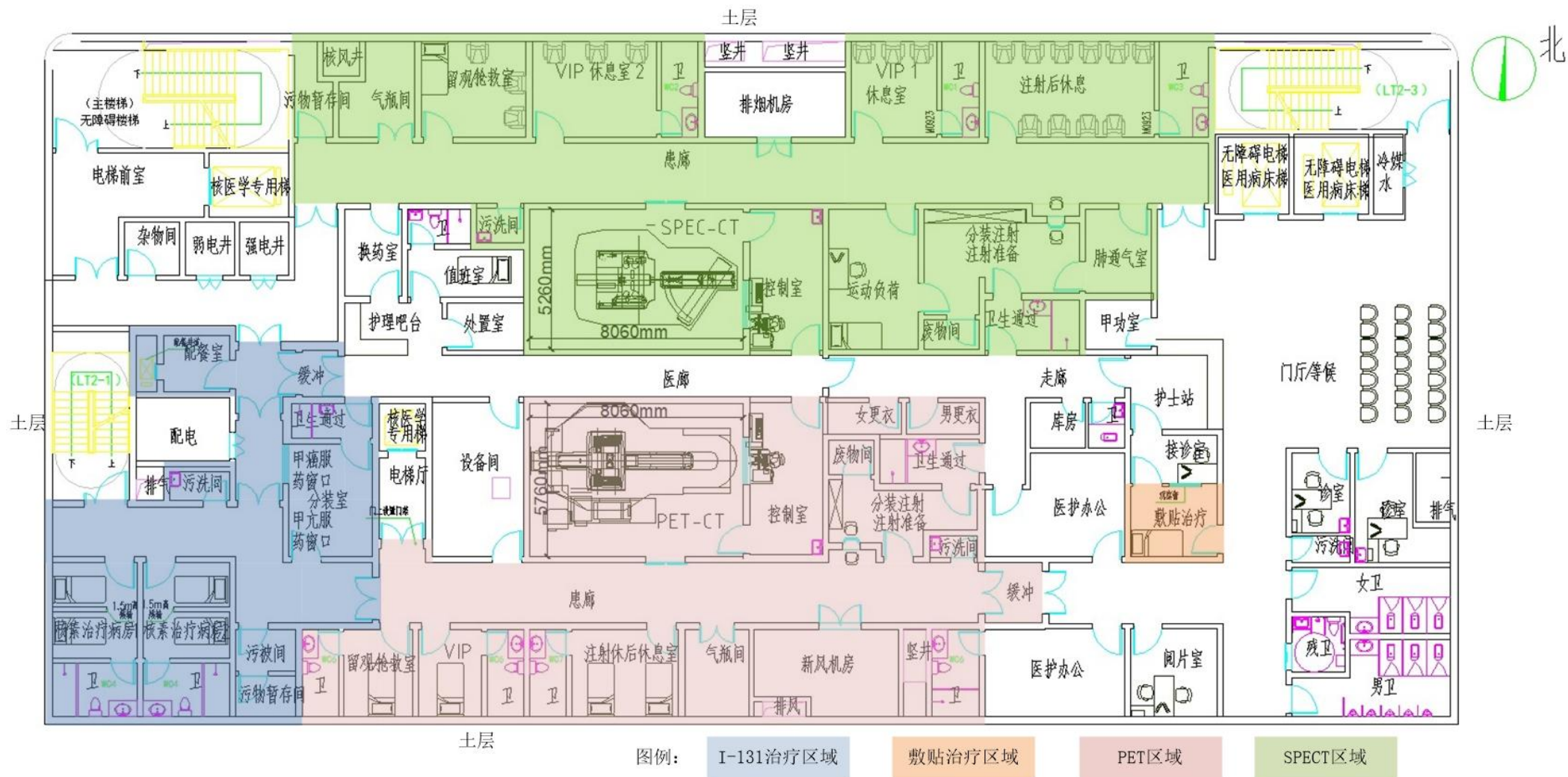


图1-6 教学科研楼地下一层平面布局设计示意图

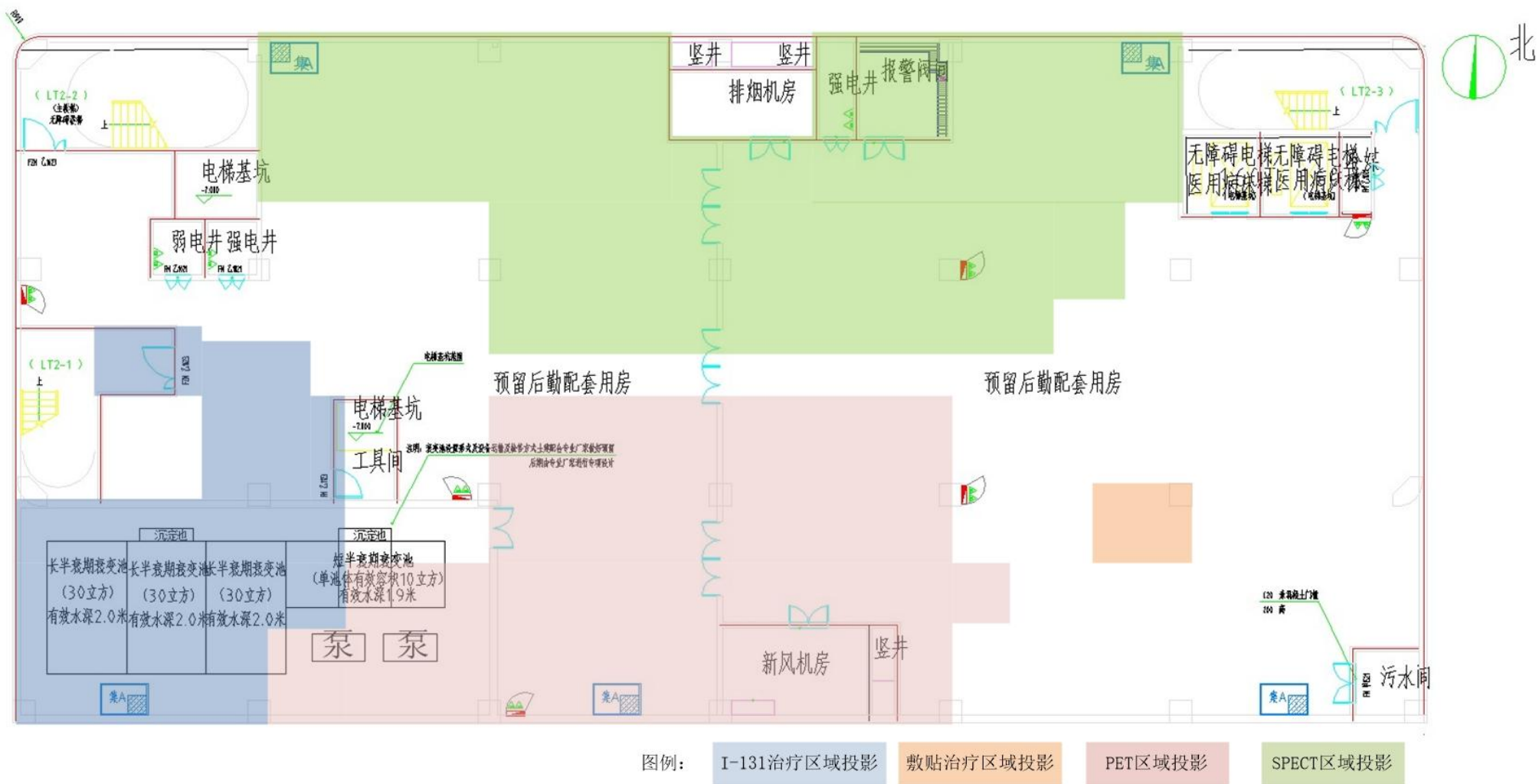


图1-7 教学科研楼地下二层平面布局示意图

**表2 放射源**

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	<sup>68</sup> Ge	5.55×10 <sup>7</sup>	V类	使用	PER/CT校准源	教学科研楼核医学科 PET/CT机房	保存于PET/CT机房的保 险柜内	
2	<sup>68</sup> Ge	1.85×10 <sup>7</sup>	V类	使用				
3	<sup>90</sup> Sr ( <sup>90</sup> Y)	1.57×10 <sup>9</sup>	V类	使用	敷贴治疗	教学科研楼核医学科 敷贴治疗室	保存于敷贴治疗室的保 险柜内	

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	<sup>18</sup> F	液态针剂、低毒、半衰期 109.8min	使用	1.11E+10	1.11E+07	2.78E+12	核医学诊断	很简单的操作	教学科研楼核医学科 PET 区域	核医学科 PET/CT 检查区域通风橱内
2	<sup>68</sup> Ga	液态针剂、低毒、半衰期 68.3min	使用	3.70E+09	3.70E+06	9.25E+11	核医学诊断	很简单的操作	教学科研楼核医学科 PET 区域	核医学科 PET/CT 检查区域通风橱内
3	<sup>99m</sup> Tc	液态针剂、低毒、半衰期 6.02h	使用	2.78E+10	2.78E+07	6.95E+12	核医学诊断	很简单的操作	教学科研楼核医学科 SPECT 区域	核医学科 SPECT/CT 检查区 域手套箱内
4	<sup>131</sup> I	液态药剂、中毒、半衰期 8.02d	使用	2.96E+10	2.96E+09	1.48E+12	核医学治疗	简单操作	教学科研楼核医学科 <sup>131</sup> I 区域	核医学科 <sup>131</sup> I 通风 橱内
		液态药剂、中毒、半衰期 8.02d	使用	3.70E+09	3.70E+08	9.25E+11	核医学治疗	简单操作	教学科研楼核医学科 <sup>131</sup> I 区域	核医学科 <sup>131</sup> I 通风 橱内
5	<sup>89</sup> Sr	液态，半衰期 50.5d，中毒	使用	2.96E+08	2.96E+07	7.40E+10	核医学治疗	简单操作	教学科研楼核医学科 SPECT 区域	核医学科 SPECT/CT 检查区 域手套箱内
6	<sup>153</sup> Sm	液态，半衰期 1.95d，中毒	使用	1.85E+09	1.85E+08	4.63E+11	核医学治疗	简单操作	教学科研楼核医学科 SPECT 区域	核医学科 SPECT/CT 检查区 域手套箱内

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

## 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
无										

(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	PET/CT	III	1	待定	140	800	显像诊断	教学科研楼核医学科PET/CT机房	/
2	SPECT/CT	III	1	待定	140	800	显像诊断	教学科研楼核医学科SPECT/CT机房	/

(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 ( $\mu$ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
无													

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固废 (服碘口杯、注射器、针头、肺通气呼吸过滤器、纱布、手套、棉签、吸水纸、去污擦拭物品、废活性炭滤芯等)	固态	<sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga	/	/		清洁解控水平： ≤1×10 <sup>1</sup> Bq/g α表面污染：≤0.08Bq/cm <sup>2</sup> β表面污染≤0.8Bq/cm <sup>2</sup> 的	暂存于PET/CT检查区域废物间内	经至少30天衰变，达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理。
		<sup>99m</sup> Tc、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>153</sup> Sm	/	/	354kg	清洁解控水平： ≤1×10 <sup>2</sup> Bq/g α表面污染≤0.08Bq/cm <sup>2</sup> β表面污染≤0.8Bq/cm <sup>2</sup>	暂存于SPECT/CT检查区域废物暂存间内	
		<sup>131</sup> I	/	/	650kg		与诊断核素分开收集，暂存于废物暂存间内	经至少180天衰变，达到清洁解控水平后，作为普通医疗废物处理。
放射性废水 (冲厕、洗手、淋浴废水，洗污废水等)	液态	<sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga、 <sup>99m</sup> Tc	/	/	127.1m <sup>3</sup>	总α<1Bq/L 总β<10Bq/L	短半衰期衰变池内暂存有效容积(3×10m <sup>3</sup> )	经槽式衰变池衰变至少30天，符合排放标准后排入医院废水处理系统。
		<sup>131</sup> I	/	/	104.5m <sup>3</sup>	总α<1Bq/L 总β<10Bq/L <sup>131</sup> I<10Bq/L	长半衰期衰变池内暂存有效容积(3×30m <sup>3</sup> )	经槽式衰变池衰变至少180天，符合排放标准后排入医院废水处理系统
放射性废气	气态	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>131</sup> I、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>153</sup> Sm	/	/	/	/	不暂存	经由独立负压排风管道引至教学科研楼楼顶上方，排风口均安装活性炭过滤装置，废气经过滤吸附后朝向天空排放到环境大气。
废放射源	固态	<sup>90</sup> Sr- <sup>90</sup> Y	/	/	1枚	<sup>90</sup> Sr<40mCi	废 <sup>90</sup> Sr- <sup>90</sup> Y源暂存在保险箱，及时联系厂家回收。	厂家回收
		<sup>68</sup> Ge	/	/	/	/	保存在PET/CT机房保险柜内	厂家回收

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

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

表6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》，主席令第九号，2015年1月1日起实施；</p> <p>(2)《中华人民共和国放射性污染防治法》，主席令第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(3)《中华人民共和国环境影响评价法》，主席令第二十四号，2018年12月29日修订并实施；</p> <p>(4)《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年9月20日公布，2019年11月1日起施行；</p> <p>(5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第709号第二次修订，2019年3月2日第二次修订版公布并实施；</p> <p>(6)《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号修订，2017年6月21日公布，2017年10月1日起实施；</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，经生态环境部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施；</p> <p>(8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第18号令，2011年4月18日公布，2011年5月1日起实施；</p> <p>(9)《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境令第16号，2020年11月30日公布，2021年1月1日起实施；</p> <p>(10)《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原环境保护部和国家卫计委公告第66号，2017年12月5日公布并实施；</p> <p>(11)《关于发布〈放射源分类办法〉的公告》，原国家环保总局公告2005年第62号，2005年12月23日；</p> <p>(12)《关于发布〈建设项目竣工环保验收暂行办法〉的公告》，国环评环〔2017〕4号，2017年11月20日公布并实施；</p> <p>(13)《中国核与辐射安全管理体系现场监督检查和执法程序》，生态环境部，2020年；</p> <p>(14)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生</p>
-------------	---

	<p>态环境部公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(15)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 12 日实施；</p> <p>(16)《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》，闽环保辐射〔2013〕10 号，2013 年 3 月 15 日印发；</p> <p>(17)《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》，闽环函〔2020〕22 号，2020 年 9 月 23 日发布。</p>
<p><b>技术 标准</b></p>	<p>(1)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(3)《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(4)《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5)《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>(6)《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(7)《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；</p> <p>(8)《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）</p> <p>(9)《表面污染测定第一部分 <math>\beta</math>发射体（<math>E_{\beta\max} &gt; 0.15\text{MeV}</math>）和<math>\alpha</math>发射体》（GB/T 14056.1-2008）；</p> <p>(10)《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(11)《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）。</p>
<p><b>其他</b></p>	<p>(1) 漳浦县医院提供的与本项目相关建筑图纸、文件资料和技术资料等；</p> <p>(2) NCRP Report No.151“Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities”（2005）；</p> <p>(3) NCRP Report No. 147 : Structural Shielding Design and Evaluation for Medical X-Ray imaging Facilities , 2004;</p> <p>(4)《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，</p>

1987)，李德平，潘自强主编；

(5)《辐射防护手册第三分册 辐射安全》，李德平、潘自强主编；

(6)《辐射防护导论》，方杰主编、李士骏主审，原子能出版社；

(7)《医用外照射源的防护》，ICRP 33 号出版物，人民卫生出版社，

1984；

(8) AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements ,  
Med.Phys.33(1), January 2006；

(9) 国际放射防护委员会 ICRP 第 94 号出版物：非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑，北京大学医学出版社，2007 年 7 月；

(10)《放射性核素和辐射防护数据手册》，[Radiation Protection  
Dosimetry.98(1)，2002]。

## 表7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的规定，并结合本项目的辐射特点，确定以本项目各辐射工作场所屏蔽墙为边界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围，本项目评价范围见图 7-1。



图7-1 本项目周围50m范围示意图

### 7.2 保护目标

本项目建设地点位于漳浦县医院拟建教学科研楼，拟建的教学科研楼位于医院北侧，其东侧为综合服务楼，南侧为住院楼，西侧为儿科门诊，北侧为山体。本项目建设地点周围 50m 范围内主要为医院内部建筑物和道路。医院总平面布局图见图 1-3。

本项目核医学科工作场所位于教学科研楼负一层，选址相对独立。核医学科场所南侧、西侧和北侧均为土层，东侧为候诊区、诊室、医生办公和电梯厅等场所。核医学科楼上为影像科和办公场所，下方为预留后勤配套用房。

本项目环境保护目标主要为辐射工作人员和周边公众，其中周边公众主要包括医院职工、就医患者和患者家属。本项目评价范围内保护目标分布情况详见表 7-1。教学科研楼地下一层、一层和地下二层平面布局图见图 1-5~图 1-6。

表7-1 本项目评价范围内保护目标分布情况

辐射场所	方位	距离 (m)	保护目标	人数	保护目标
核医学科	本项目核医学工作场所区域内	紧邻	控制室、分装室等	约10人	辐射工作人员
	东侧	0~15	医护办公室、诊室、阅片室等	约30人	辐射工作人员、公众
		15~35	院内道路、停车场	流动人群	公众
		35~50	综合服务楼	约100~200人	公众
	南侧	0~20	院内道路、停车场	流动人群	公众
		20~50	住院楼	约100~200人	公众
		25~50	医疗综合楼	约200~300人	公众
	西侧	0~50	院内道路、停车场	流动人群	公众
		20~50	儿科楼	约20~50人	公众
	北侧	0~50	山体、院外道路	流动人群	公众
	上方	紧邻	供应室	约50人	公众
	下方	紧邻	预留后勤配套用房	流动人员	公众

### 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）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。GB 18871-2002中涉及本次评价的内容主要包括：

#### 4.3 辐射防护要求

第 4.3.1 款：实践正当性

第 4.3.2 款：剂量限制和潜在照射危险限制

第 4.3.3 款：防护和安全的最优化

第 4.3.4 款：剂量约束和潜在照射危险约束

#### 6.4 辐射工作场所的分区

第 6.4.1 款：控制区

第 6.4.2 款：监督区

第 6.4.3 款：非密封源工作场所的分级

附录 B 剂量限值和表面污染控制水平

## B 1 剂量限值

### B 1.1 职业照射

B 1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

### B 1.2 公众照射

#### B 1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；
- b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高至 5mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；
- d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

## B 2 表面污染控制水平

B 2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 B 11 所列

**表B11 工作场所的放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm<sup>2</sup>）**

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4×10 <sup>-1</sup>	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-1</sup>

1) 该区内的高污染子区除外。

## 附录 C 剂量限值和表面污染控制水平

### C1 非密封源工作场所的分级

应按表 C1 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

**表 C1 非密封源工作场所的分级**

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4E+9
乙	2E+7~4E+9
丙	豁免活度值以上~2E+7

### C2 放射性核素的日等效操作量的计算

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表C2和表C3。

表C2 放射性核素毒性组别修正因子

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

表C3 操作方式与放射源状态修正因子

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

### 8.6 放射性物质向环境排放的控制

第 8.6.2 款：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，并应对每次排放做好记录：

- a) 每月排放的总活度不超过  $10ALI_{min}$ （ $ALI_{min}$  是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；
- b) 每一次排放的活度不超过  $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。
- c) 核医学科产生的放射性废液经过衰变后，排入医院污水处理站，放射性废液中放射性核素排放导出限值见表 B。

**表B 废水中放射性核素排放导出限值**

序号	核素名称	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
1	<sup>18</sup> F	2.1E+9	2.1E+8
2	<sup>99m</sup> Tc	6.9E+9	6.9E+8
3	<sup>131</sup> I	9.1E+6	9.1E+5

注：参照GB 18871-2002附录 B 表 B3 计算得到。 $ALI_{min}=DL/e_j$ ，其中  $DL$  取 20mSv， $e_j$ 取食入值和吸入值中的较大者。

**附录B 导出空气浓度限值建议**

根据本项目操作非密封放射性物质的污染源项分析，项目运行后排放废气中的关键核素是<sup>131</sup>I，故对该核素提出排放控制建议值。假定全年操作<sup>131</sup>I并排放废气的累计时间为2000h；“参考人”平均每分钟呼吸空气的体积取0.02m<sup>3</sup>。由《电离辐射与辐射源安全基本标准》表B3、表B6和表B7给出的数据，导出本项目公众吸入<sup>131</sup>I的导出空气浓度限值（DAC）为5.6Bq/m<sup>3</sup>（公众剂量约束值取0.1mSv/a时的导出值）。

**7.3.4 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）**

参照HJ 1188-2021，本项目核医学科工作场所应满足以下要求（本项目不涉及的条款不再列出）：

**4 总则**

**4.1 一般要求**

4.1.1 医疗机构应对所开展核医学活动的辐射防护与安全工作全面负责，实现保护辐射工作人员、公众和环境的目标。

4.1.2 医疗机构应对拟开展的核医学活动进行正当性判断，确保实施的活动都是正当的。

4.1.3 规划、设计、建设核医学工作场所和开展核医学活动的过程中，遵循辐射防护最优化原则，使得核医学活动涉及的相关个人受照剂量的大小、受到照射的人数和受到照射的可能性保持在可合理达到的尽量低的水平。

4.1.4 开展核医学活动的工作场所应实行分级管理。

4.1.5 开展核医学活动的辐射工作场所应划分出控制区和监督区，合理布局工作场所，规划好人流、物流、气流路径，妥善收集、暂存和处理核医学活动中产生的放射性废物。

4.1.6 医疗机构应对开展核医学活动的工作场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取辐射防护与安全措施的合理性。

4.1.7 开展核医学活动的医疗机构应制定恰当的辐射事故应急预案，做好辐射事故应急准备和响应工作安排，有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。

## 4.2 辐射工作场所分级

4.2.1 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。

## 4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

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

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

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

## 4.4 剂量限值与剂量约束值

### 4.4.1 剂量限值

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

### 4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a

### 4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

## 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。

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  $30\text{cm}$  处的周围剂量当量

率应小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于  $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面  $30\text{cm}$  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、暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面  $30\text{cm}$  处的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

## 6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

6.2.8 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

## 6.3 密闭和通风要求

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

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

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

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。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

### 7.1 一般要求

7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

### 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， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

7.2.3.3 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、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

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

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

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

### 7.3.2 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。

7.2.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

### 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  $\alpha$  不大于 1Bq/L、总  $\beta$  不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

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。

### 7.3.5 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）

本评价引用 GBZ 120-2020 的部分条款如下：

#### 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，进行表面污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB 18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置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。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

## 5.2 放射防护措施要求

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1，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录G。

**表1 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 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

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

## 附录G 核医学工作场所分类

### G.1 核医学工作场所分类见表G.1

**表 G.1 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**

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

### G.2 加权活度计算方式见式 (G.1)：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \quad (\text{G.1})$$

G.3 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表G.2，不同操作性质的修正因子取值见表G.3：

**表 G.2 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	<sup>75</sup> Se、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>125</sup> I、 <sup>131</sup> I、 <sup>32</sup> P、 <sup>90</sup> Y、 <sup>99</sup> Mo、 <sup>153</sup> Sm	100
B	<sup>11</sup> C、 <sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O、 <sup>18</sup> F、 <sup>51</sup> Cr、 <sup>67</sup> Ga、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>123</sup> I、 <sup>111</sup> In、 <sup>113m</sup> In、 <sup>201</sup> Tl	1
C	<sup>14</sup> C、 <sup>3</sup> H、 <sup>81m</sup> Kr、 <sup>127</sup> Xe、 <sup>133</sup> Xe	0.01

**表G.3 不同操作性质的修正因子**

操作方式和地区	操作修正因子
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 核医学工作场所通风按表 1 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，<sup>131</sup>I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

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。

## 10 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>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。

10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>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，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。

10.1.4 在 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>I 药物，如果需要分装，则应配备分装防护通橱，宜采用

自动分装、机械手分装或半自动分装。

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。

10.2.6 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，按照要求进行出院管理。

### 7.3.6 工作场所周围剂量率控制水平

《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，均对核医学科工作场所周围剂量当量率控制水平做出了要求，结合上述两项标准要求和本项目的实际情况，本项目核医学工作场所周围的剂量当量率水平拟从严控制，具体包括：

（1）在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu$ Sv/h；

（2）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不大于 2.5 $\mu$ Sv/h；

（3）核医学科分装柜、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h；

（4）固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

### 7.4 评价目的

（1）对建设项目环境辐射现状进行调查或监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平；

（2）评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

（3）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境主管部门的管理提供依据；

（4）通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；

（5）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水

平”;

(6) 评价项目的可行性，从环境保护角度为生态环境主管部门和医院开展辐射环境管理提供依据。

## 7.5 评价原则

依据国家相关法律法规及部门规章展开评价，严格执行国家有关标准。要求辐射防护设计和安全措施必须满足相关标准的规定，并保证各类人员受照剂量在规定的限值以内，满足辐射实践的正当性、辐射防护与安全的最优化原则。

## 表8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理位置和场所位置

漳浦县医院位于漳浦县绥安镇中华路2号，医院东侧为金鹿路，南侧为中华路，西侧为德仙路，北侧为山体。漳浦县医院地理位置及医院范围示意图见图1-1~图1-3。

本项目建设地点位于漳浦县医院拟建教学科研楼，拟建的教学科研楼位于医院院内北侧，其东侧为综合服务楼，南侧为住院楼，西侧为儿科楼，北侧为山体。本项目建设地点周围50m范围内主要为医院内部建筑物和道路、北侧山体居民楼。

### 8.2 辐射环境现状监测

#### 8.2.1 检测单位

长润安测科技有限公司

#### 8.2.2 监测因子

环境 $\gamma$ 辐射剂量率

#### 8.2.3 监测时间及环境条件

监测时间：2025年6月27日；

环境条件：温度：31℃，湿度：75%

#### 8.2.4 监测方法

本次环境辐射剂量率监测严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）的相关要求进行监测。

#### 8.2.5 监测仪器

辐射环境检测使用的仪器信息详见表8-1。

表8-1 本项目辐射环境检测使用的仪器基本信息

仪器名称	环境级X- $\gamma$ 剂量率仪
型号	SCB603E
编号	CR-YQ-088
能量响应	48keV~3MeV
时间响应	<10s
测量范围	0.01 $\mu$ Gy/h~3Gy/h
校准因子	1.16（量程：10 $\mu$ Sv/h）
检定有效期	北京市计量检测科学研究院（证书编号：DD25J-CA100222） 有效期至：2026年05月07日

### 8.2.6 质量控制

(1) 检测实行全过程的质量控制，严格《质量手册》《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行；

(2) 检测仪器符合《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中的相关规定，并经过北京市计量检测科学研究院，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

(3) 现场检测人员、检测报告编制人、检测报告审核人、检测报告授权签字人均持证上岗；

(4) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和代表性。

### 8.2.7 布点原则

本项目的环境辐射现状监测的点位主要位于室内和道路，按照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）的辐射环境质量监测布点要求，开展道路测量时，点位应设置在道路中心线；开展室内测量时，点位应设置在人员停留时间最长的位置或者室内中心位置。

### 8.2.8 监测点位

根据以上布点原则，本项目主要监测拟建核医学工作场所周围的辐射环境本底值，共布设 14 个检测点位，本项目监测布点图见图 8-1。



图8-1 本项目周围监测布点图

### 8.2.9监测结果

拟建核医学工作场所及周围辐射环境本底监测结果分布见表8-2，检测报告见附件5。

表8-2 核医学工作场所及周围辐射环境本底监测结果

检测点位	检测位置	检测结果 (nGy/h)	备注
1	拟建教学科研楼	156.9±3.1	室外
2	拟建教学科研楼	157.4±3.6	室外
3	拟建教学科研楼	152.1±2.9	室外
4	拟建教学科研楼东侧（院内道路）	157.0±2.6	室外
5	拟建教学科研楼东侧（综合服务楼）	158.1±3.5	室内
6	拟建教学科研楼东南侧（绿化带）	153.4±2.8	室外
7	拟建教学科研楼南侧（院内道路）	155.2±2.6	室外
8	拟建教学科研楼南侧（住院楼）	158.7±2.9	室内
9	拟建教学科研楼西侧（院内道路）	156.7±3.6	室外
10	拟建教学科研楼西侧（儿科楼）	159.6±4.7	室内
11	拟建教学科研楼西南侧（医疗综合大楼）	157.9±4.8	室内
12	拟建教学科研楼北侧（山体）	155.0±3.1	室外
13	拟建教学科研楼西北侧（院外道路）	154.6±3.5	室外
14	拟建教学科研楼东北侧（院外道路）	154.7±3.3	室外

注：1.测量时探头距离地面约1m，每个检测点位测量10个数据取平均值，以上检测结果均已扣除测量点处宇宙射线响应值；  
2.环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率= $k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times D_c$ ，仪器检定/校准因子 $k_1$ 为1.16，仪器检验源效率因子 $k_2$ 取1，仪器测量读数值均值 $R_\gamma$ ，屏蔽修正因子 $k_3$ 室内按楼房取0.8、室外按道路取1；测量点宇宙射线响应值 $D_c$ 为12.2nGy/h。

综上所述，本项目拟建核医学工作场所周围室内监测点位的环境 $\gamma$ 辐射剂量率在157.9±4.8~159.6±4.7nGy/h之间，室外监测点位的环境 $\gamma$ 辐射剂量率为152.1±2.9~157.4±3.6nGy/h之间，处于《中国环境天然放射性水平》中福建省漳州市室内环境辐射水平正常范围（102~351.7）nGy/h，室外道路环境辐射水平正常范围（82.4~399.1）nGy/h。

## 表9 项目工程分析与源项

### 9.1 工程设备与工艺分析

#### 9.1.1 设备组成及工作原理

##### (一) PET/CT设备组成及工作原理

PET即正电子发射断层显像技术（Positron Emission Tomography），PET技术采用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为示踪剂，通过病灶对示踪剂的摄取反映其代谢变化，在分子水平上通过动态、定量地监测人体内部的代谢变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变，所以PET又称为“生化显像”或“分子显像”。

CT即X射线计算机断层摄影技术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的X射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射线衰减数据，通过数学运算和电子计算机数据处理，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

PET/CT的全称为“正电子发射断层显像/X射线计算机体层成像仪”（Positron Emission Tomography / Computed Tomography），是将PET设备和CT设备有机结合在一起的先进影像设备，两种成像技术优势互补，PET图像提供功能和代谢等分子信息，CT提供精细的解剖和病理信息，通过图像融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变，具有灵敏度高，特异性强，病灶定位准确等特点，达到各类疾病特别是肿瘤疾病的早期诊断，具有常规影像检查所无法比拟的优势。典型的PET/CT设备外观示意图见图 9-1。



图9-1 某典型PET/CT设备外观示意图

正电子药物 PET 显像剂按功能大致分为脑功能显像剂、心功能显像剂、肿瘤阳性显像剂等，目前应用最为广泛的正电子 PET 药物为  $^{18}\text{F}$ -脱氧葡萄糖 ( $^{18}\text{F}$ -FDG)。FDG 可测定肿瘤、心脏及脑中的葡萄糖代谢，用于肿瘤、冠心病及神经/精神疾病的早期诊断、鉴别诊断及指导治疗。本项目核医学科 PET/CT 仅使用正电子药物  $^{18}\text{F}$  开展 PET 显像诊断。

PET 显像原理是将正电子放射性核素（如  $^{18}\text{F}$ ）标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物（如脱氧葡萄糖）上，并将其注射到受检者体内，受检者通常需要经过一段时间的候诊，待正电子标记化合物参与到人体的代谢循环后，让受检者在 PET 设备有效视野范围内进行 PET 显像。放射性核素发出的正电子在体内与组织中的负电子结合发生湮灭，产生两个能量相等（ $0.511\text{MeV}$ ）、方向相反的 $\gamma$ 光子。PET 探测器系统在规定的时间内探测到两个互成  $180^\circ$ 的 $\gamma$ 光子时，即判定为是一个符合事件，此时探测器分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲信号调整为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，即可得到人体各部位的 PET 显像图像。

## （二）SPECT/CT设备组成及工作原理

SPECT 即单光子发射计算机体层显像（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种核医学科常规的影像技术。SPECT 技术是将标记有发射单光子核素（如  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的重要生命物质（如糖、蛋白质、脂肪等）注射到人体内，然后借助 SPECT 装置进行扫描成像，以观察这些单光子核素标记化合物在人体全身脏器的分布情况，以显示它们在人体内的代谢过程。SPECT 成像的基本原理为：受检者注射被放射性核素标记的药物，药物在特定的器官或组织发射出 $\gamma$ 射线，穿过人体器官组织后到达 SPECT 探测器。SPECT 通过准直器对 $\gamma$ 射线进行准直，通过闪烁体将 $\gamma$ 射线能量转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转换为电信号，经放大器后，得到的测量值代表该投影线上放射性数值，再利用计算机求解断层图像。

SPECT 和 CT 二者强强联合，合二为一便构成了现代核医学的显像利器 SPECT/CT，SPECT/CT 采用图像融合技术发挥两种影像学检查技术的优势同时弥补各自的不足，使得从图像上获得的信息量有了很大提高，达到了  $1+1>2$  的诊断效能。SPECT 在癌症骨转移、冠心病、肺动脉栓塞、急性脑梗死、甲状腺癌诊断和评价等方

面，能够发挥不可替代的作用。SPECT/CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。其中探头部分主要由准直器、闪烁体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。本项目核医学科拟使用放射性药物  $^{99m}\text{Tc}$  开展 SPECT/CT 影像检查，某典型 SPECT/CT 扫描装置示意图见图 9-2。



图9-2 某典型SPECT/CT设备外观示意图

### （三）锝气发生器组成及工作原理

锝气发生器的作用是产生肺通气显像的通气剂。肺通气显像是核医学常见的一种肺部疾病的检查方法。开展肺通气检查前，工作人员向锝气发生器舟形石墨坩埚中注入  $^{99m}\text{Tc}$ ，在充满高纯度氙气的密闭腔室内通电加热， $^{99m}\text{Tc}$  蒸发得到  $^{99m}\text{Tc}$  气体，产生碳包裹的  $^{99m}\text{Tc}$  纳米颗粒气溶胶（Technegas），受检者通过锝气发生器锝雾化器回路吸入  $^{99m}\text{Tc}$  气溶胶，再利用 SPECT/CT 设备进行肺部显像诊断，从而了解和判断患者肺部通气功能和肺部病变情况。由于 Technegas 颗粒直径细微、大小均匀、在中央气道沉积少，仅在病灶处少量沉积，且一旦沉积在肺内 20min 内不会被清除，亦无重新分布，适合进行多角度及断层显像，并具有制备方便、价格低廉、应用范围广、能量和半衰期合适等优点。肺通气显像经常用于肺纤维化、肺栓塞和慢阻肺等疾病的鉴别和诊断。

锝气发生器主要由主机、推车、石墨舟型坩埚和手动加压通气附件组成，手动加压通气附件包括球囊、单向阀门、PAS 控制阀和管路，其他附件包括患者鼻夹、钳

子、整套氙气调节器组件等，锡气发生器的组成详见图 9-3。



图9-3 锡气发生器的组成示意图

#### (四) 甲亢治疗、甲癌治疗工作原理

(1) 甲亢治疗：甲亢治疗是利用甲状腺具有高度选择性摄取  $^{131}\text{I}$  的功能，功能亢进的甲状腺摄取能力更强。甲亢患者口服一定量的  $^{131}\text{I}$  后， $^{131}\text{I}$  核素将会被浓集甲状腺内。 $^{131}\text{I}$  在甲状腺内停留的时间较长，衰变时主要发射 $\beta$ 粒子，且射程短，仅约 2~3mm， $\beta$ 粒子对周围正常组织一般无影响。因此， $^{131}\text{I}$  核素发出的 $\beta$ 射线可选择性地破坏甲状腺组织而不影响邻近组织，甲状腺组织被破坏后逐渐坏死并纤维化，从而减少甲状腺激素的合成及分泌，达到类似于甲状腺部分切除的目的。

(2) 甲癌治疗： $^{131}\text{I}$  甲癌治疗是利用特异性抗体作为载体与  $^{131}\text{I}$  核素结合，借助抗体的靶向作用， $^{131}\text{I}$  核素载体与肿瘤组织特异性结合，使肿瘤组织区域浓集大量  $^{131}\text{I}$  放射性核素。 $^{131}\text{I}$  衰变时发射出的 $\beta$ 射线和 $\gamma$ 射线，在病灶局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制、杀伤或杀死肿瘤细胞。一般来说，甲状腺癌的治疗原则是以手术为主的综合治疗，甲癌病人病灶可以通过手术切除，但对于某些分化型甲状腺癌及转移病灶，甲状腺腺体组织和病灶无法完全切除，通常会辅以  $^{131}\text{I}$  核素治疗。施行完甲状腺全切术或次全切术的甲癌患者，可选择行  $^{131}\text{I}$ “清甲”或“清灶”治疗。“清甲”是指用  $^{131}\text{I}$  摧毁术后残留的正常甲状腺组织，“清灶”是指用  $^{131}\text{I}$  治疗甲状腺床残留甲状腺癌、甲状腺床复发灶和转移灶。“清甲”用药剂量较低，约 80~100mCi，“清灶”用药剂量较大，甲状腺癌复发或淋巴结转移的治疗剂量为 100~150mCi，少数肺部或骨转移治疗剂量可达 200mCi。

### （五） $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗工作原理

$^{90}\text{Sr}$ 敷贴治疗是将敷贴器紧贴在皮肤表面的病变部位，利用放射性核素衰变时发射出的 $\beta$ 射线照射局部病灶，使局部病灶产生电离辐射生物学效应，从而抑制病变细胞生长和增殖，诱导组织细胞凋亡、脱落，以达到治疗目的，主要用于治疗局限性血管瘤、瘢痕疙瘩、慢性湿疹、牛皮癣等皮肤类疾病。 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器是通过粉末冶金工艺制造的金属敷贴器，有不同面积、形状、剂量可供选择，优点是 $\beta$ 射线能量较高，不伴生 $\gamma$ 辐射，使用寿命长，剂量准确、均匀，实际使用时需要用橡胶或橡皮泥等材料保护病灶周围的正常皮肤。

$^{90}\text{Sr}$ 核素的半衰期为 28.79 年，衰变类型为 $\beta^-$ （100%）， $\beta$ 射线最大能量为 0.546MeV，但  $^{90}\text{Sr}$ 核素所发射出的 $\beta$ 射线大部分会被敷贴器金属薄膜保护层所吸收，基本不会起到治疗作用，实际起治疗作用的是  $^{90}\text{Sr}$ 的子体核素  $^{90}\text{Y}$ 衰变放出的高能 $\beta$ 射线，故称之为“ $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器”。 $^{90}\text{Y}$ 核素的衰变类型为 $\beta^-$ （99.99%），放出的 $\beta$ 射线平均能量为 0.934MeV，最大能量约为 2.29MeV，在人体组织中的最大射程约 11mm，随组织深度增加剂量也将迅速减少，不会对深部组织和邻近脏器造成辐射损伤。

$^{90}\text{Y}$ 的半衰期是 66h， $^{90}\text{Sr}$ 的半衰期是 28.79 年， $^{90}\text{Sr}$ 半衰期远远大于  $^{90}\text{Y}$ ，因此  $^{90}\text{Y}$ 子体将会按照  $^{90}\text{Sr}$ 母体的衰变规律衰变（即达到放射性长期平衡），在不出现破损、泄漏的情况下， $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器的使用寿命很长。此外， $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器还具有易屏蔽，使用方便、副作用小等优点，在各类皮肤病治疗领域的应用较为广泛。

### （六） $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 骨转移瘤治疗工作原理

$^{89}\text{Sr}$ 在元素周期表上是位于 Ca 之后的II A 族金属元素，进入体内几乎与 Ca 一样参与骨的矿物营养物质代谢并在骨中浓集，是一种亲骨性核素。 $^{89}\text{Sr}$ 发射 $\beta$ 射线， $\beta$ 粒子的最大能量为 1.488MeV，物理半衰期为 50.5d，在骨组织内的射程约为 6.7mm。利用其发射的 $\beta$ 射线杀死肿瘤细胞，并起到镇痛治疗的作用。 $^{89}\text{Sr}$ 静脉注射后浓集于骨内，一般在注射后 10d， $^{89}\text{Sr}$ 在骨肿瘤部位的浓集达到高峰，然后缓慢下降。在病灶中  $^{89}\text{Sr}$ 的浓集能保持较长时间，注射后 90d，其骨转移灶的  $^{89}\text{Sr}$ 的滞留量仍可达 20%~80%。而正常骨组织注射  $^{89}\text{Sr}$ 后一天即达峰值，然后很快减少，骨转移灶的浓集量是正常骨的 2-25 倍，由此对病灶就有足够的照射剂量，而对病灶以外的正常骨组织照射很少，不

致引起不可逆的骨髓损伤。 $^{89}\text{Sr}$  还可降低碱性磷酸酶和前列腺素（PEG）水平，有利于减轻骨质溶解，修复骨质，达到止痛和降低血钙的作用。用于治疗 $^{89}\text{SrCl}_2$ 是直接进行静脉注射，一般用量 $4\text{mCi/人}$ ，每份用于治疗放射性液体由供应商事先分装，预约病人后发货，治疗时不需再分装，可门诊治疗骨转移癌。

$^{153}\text{Sm}$  趋骨性极低，与骨组织不具备自然亲和力，但其与乙二胺四亚甲基膦酸（EDTMP）螯合后可形成新的复合物，从而能获得较高的趋骨性。 $^{153}\text{Sm}$  发射 $\beta$ 和 $\gamma$ 射线， $\beta$ 粒子的最大能量为 $0.702\text{MeV}$ ，物理半衰期为 $46.28\text{h}$ ，在骨组织内的平均射程约为 $0.83\text{mm}$ 。经静脉注入机体后能迅速与含羟基磷灰石的骨组织紧密结合，使得骨转移灶中恶性肿瘤细胞能持续暴露于较高辐射剂量的 $\beta$ 射线下，达到局部控制或治疗的目的。

## 9.1.2 工作流程及产污环节

### 9.1.2.1 PET/CT显像检查

本项目 PET/CT 显像检查是通过为受检者静脉注射放射性药物 $^{18}\text{F}$ 和 $^{68}\text{Ga}$ ，并利用 PET/CT 设备对受检者全身或者相关脏器进行诊断检查。本项目核医学科使用的药物均为外购药物成品，显像检查的工作流程如下：

①预约登记：根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的受检者提前一天预约登记，确认药物指导用量。

②订药：核医学工作人员根据预约人数，确定第二天的总订药量。药物从有资质的供应商订购。药物整装贮存在药物铅罐内，使用前需要根据实际用量进行分装操作；

③药物交接：外购的药物由供应商派专人运输至核医学科 PET/CT 检查区域分装注射室内，送药时间为当天工作开始前无病人的时间段（早上 8 点之前）；核医学工作人员须仔细核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，在分装注射室摄像头监控下，办理“点对点”交接手续，然后将药物铅罐暂存于分装注射室 $^{18}\text{F}$ 通风橱内；

④药物分装：工作人员进入分装注射室，进行药物分装，使用放射性活度计测定活度。药物的分装在通风橱（防护厚度正面 $50\text{mmPb}$ ，其余面 $40\text{mmPb}$ ）内进行，使用

专用分装铅罐或翻转式铅罐（防护厚度 40mmPb）进行分装。分装完成后，将药物装入专用注射器并放入运输防护铅盒内（防护厚度 20mmPb），等待注射；

⑤药物注射：受检者按预定的时间到达核医学科，从核医学科 PET/CT 显像检查患者入口的单向门进入，到达注射窗口。注射人员在受检者手臂下铺垫吸水纸并预埋针。然后注射人员从防护铅盒内取出注射器，在注射窗（其防护厚度 40mmPb）后实施静脉注射，注射时间不超过 60s/人次；

⑥显像检查：注射药物的受检者进入 PET 注射后候诊室或 1 间 VIP 候诊室候诊，每位 PET 患者候诊时间为 1h，本项目注射后 PET 候诊室至多可容纳 2 名 PET 受检者同时候诊；候诊结束后，受检者根据语音提示进入 PET/CT 机房进行扫描检查，扫描检查时间平均为 15min/人次；

⑦扫描检查完成后，受检者留观约 10min，无不良反应即可离开核医学科。

本项目 PET/CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图见图 9-4。

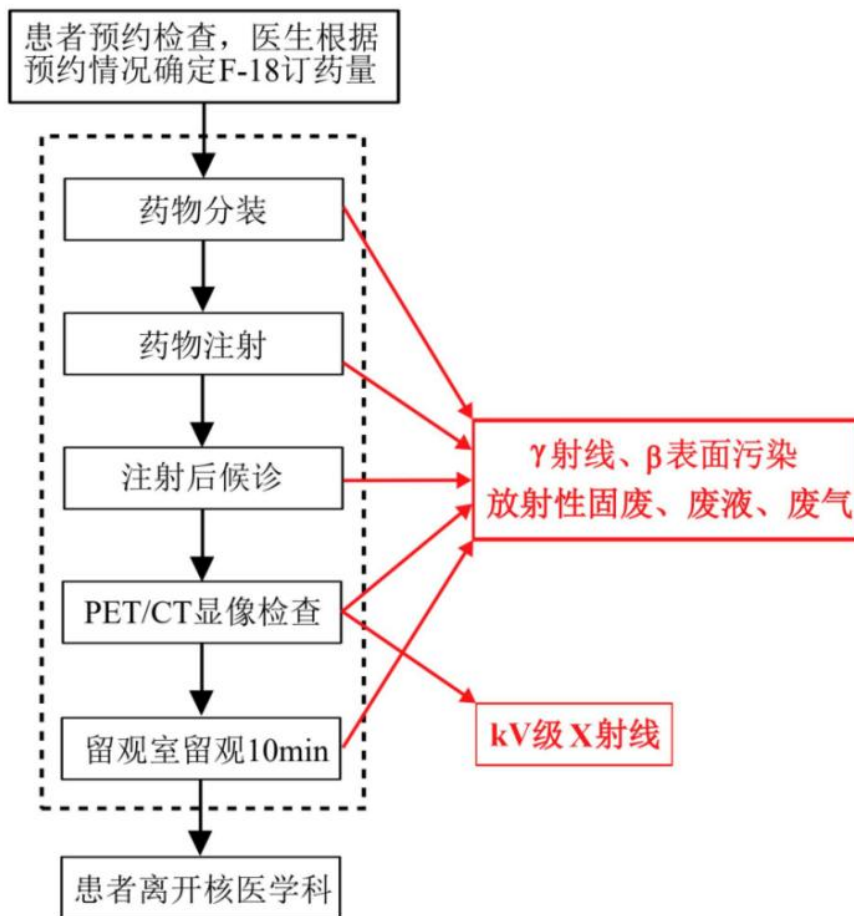


图9-4 PET/CT显像诊断工作流程及产污环节

### 9.1.2.2 SPECT/CT显像检查

#### (1) $^{99m}\text{Tc}$ 核素显像检查

①预约登记：接受 SPECT/CT 显像检查的受检者须提前一天预约登记，核医学科工作人员根据医师指导意见和处方用量，确定第二天  $^{99m}\text{Tc}$  放射性药物用量。

②药物注射：受检者按预定的时间到达核医学科，从核医学科 SPECT 显像检查患者入口的单向门进入，到达注射窗口。注射人员在受检者手臂下铺垫吸水纸并预埋针。然后注射人员从防护铅罐内取出注射器，在  $^{99m}\text{Tc}$  注射窗后实施静脉注射，注射时间不超过 60s/人次；

③显像检查：注射  $^{99m}\text{Tc}$  药物的受检者进入 SPECT 注射后候诊室候诊或 2 间 VIP 候诊室候诊或进入运动负荷室进行运动负荷。本项目 SPECT 候诊室至多可容纳 3 名 SPECT 受检者同时候诊。待药物有一定程度的代谢后，受检者根据语音提示进入 SPECT 机房接受扫描检查，扫描检查时间平均约 15min/人次。

④扫描检查完成后，受检者留观 10min 左右，无不良反应即可离开核医学科。

#### (2) 肺通气显像检查

本项目核医学科还将使用  $^{99m}\text{Tc}$  核素开展肺通气显像检查，肺通气检查的流程如下：

①分装取药：在  $^{99m}\text{Tc}$  通风橱中使用活度计取 20mCi/0.1ml 的  $^{99m}\text{Tc}$ 。

②设备充电：锡气发生器插入电源输入端，打开电源主开关为设备电池充电。

③连接氙气：锡气体制备前，插上与锡气发生器相连的气体输出管，并确保自锁机构锁定，转动主调节器阀直到低压表指示在绿区。

④气体制备：首先打开抽屉，将坩埚固定在接触器上，再将 20mCi 的  $^{99m}\text{Tc}$  药液注入，关闭抽屉后按下开始按钮，在充满氙气的密闭装置内通电加温，在 2550℃条件下加热 15s 蒸发得到  $^{99m}\text{Tc}$  气体，产生碳包裹的  $^{99m}\text{Tc}$  纳米颗粒（Technegas），气体制备完成后断开主电源。气体制备过程中约有 30%的  $^{99m}\text{Tc}$  药液转化为  $^{99m}\text{Tc}$  气溶胶，其余沉积在石墨坩埚。

⑤锡气施用：向患者说明检查的整个过程，以取得患者的配合。将 PAS 的管道开端接到发生器上，让患者用嘴咬住口管，用鼻夹夹住鼻子，通过雾化器回路进行正常

均匀呼吸，按下给气按钮给病人施用  $^{99m}\text{Tc}$  气溶胶，在放射性计数达到要求（一般 3~5 个呼吸周期）后松开给气按钮，嘱咐病人再进行 5~6 个周期的呼吸，以清除管道和病人气管中的  $^{99m}\text{Tc}$  气溶胶，病人呼出的少许气溶胶由 PAS 过滤装置收集后按放射性废物处理。

⑥残余锝气清除：锝气施用完成后，再次接上氙气和发生器电源，发生器内过滤器装置清除残余锝  $^{99m}\text{Tc}$  气体。整个施给过程均在核医学科肺通气室内集气罩下进行。

⑦受检者在扫描检查后，经观察无不良反应即可离开，如有不适则在医院短暂观察。

本项目 SPECT/CT 显像诊断工作流程及产污环节示意图见图 9-5。

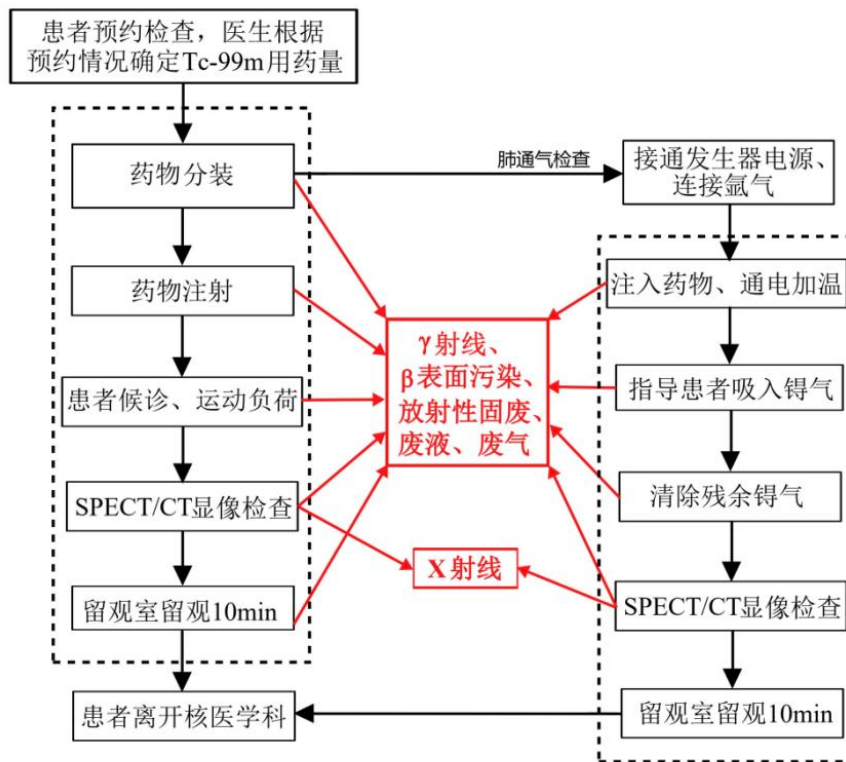


图9-5 SPECT/CT显像诊断工作流程及产污环节

### 9.1.2.3 甲癌、甲亢治疗

#### (1) 甲癌治疗

根据医院提供的信息，本项目甲癌患者  $^{131}\text{I}$  最大服药量为 200mCi，由于服药剂量较大，患者相当于一个流动放射源，在服药后的一段时间内会对周围人员及环境造成强烈的  $\gamma$  射线外照射和  $\beta$  放射性表面污染，患者需要在专用核素病房内住院 3~5 天。核

素  $^{131}\text{I}$  进入患者体内后，也会很快通过代谢、尿液、粪便排出，因此患者住院期间产生的放射性“三废”也会对环境产生一定的辐射影响。

本项目甲癌治疗使用的  $^{131}\text{I}$  药物为外购的成品药物，甲癌治疗的工作流程如下：

①甲状腺癌患者全切术后，病理若提示为分化型甲状腺癌，患者可选择  $^{131}\text{I}$  药物治疗。核医学科接诊患者后，开展  $^{131}\text{I}$  治疗的正当性判断，并给出最优化的处方剂量。

②工作人员告知患者治疗期间的辐射危害以及治疗前注意事项，患者确认后应签署治疗同意书，预约治疗日期并开具住院证明。

③购药、运输：工作人员根据上周预约住院的患者数量和用药量，向有资质的供应商订购  $^{131}\text{I}$  药物。供药商于周一早上 7 点之前负责将药物源罐运输至核素治疗区域的分装室，医院安排专人负责接收，经确认无误并在摄像头下完成“点对点”交接后，将  $^{131}\text{I}$  药物暂存在分装室通风橱内。

④治疗用药前，对患者进行“五对三查”，核对患者姓名、性别、年龄、剂量、治疗时间，检查治疗项目、治疗核素、治疗内容。治疗内容必须严格执行医嘱。

⑤药物分装、指导服药：核医学科工作人员将  $^{131}\text{I}$  药物源罐放于通风橱自动分装仪内，随后工作人员退出分装室，在  $^{131}\text{I}$  自动分装仪进行药物分装。然后通过视频指导患者服药，患者在服碘窗口自行取药口服，并要求患者将服药口杯置于服碘窗口指定的废物桶内。

⑥住院治疗：服药后患者进入甲癌病房住院，一般住院 3~5 天。出院前须进行剂量率测量，体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离体表 1m 处的周围剂量当量率不大于  $25\mu\text{Sv/h}$  方可出院。出院前医护人员发放  $^{131}\text{I}$  治疗患者告知书，告知患者出院后注意事项（例如与家庭成员距离，出行、上班避免与他人长时间接触等）。

⑦甲癌患者达到出院标准后应洗澡，然后到 SPECT/CT 机房进行 1 次全身扫描显像，初步判断治疗效果，以便制定下一步治疗计划。

⑧每周的住院患者全部出院后，医护人员及时收集放射性废物，进行工作场所表面污染检测及清洁去污。患者使用过的床单、被套、枕套按放射性被服规定处理。

## （2）甲亢治疗

根据医院提供的信息，本项目甲亢患者  $^{131}\text{I}$  的最大服药量为 10mCi，药物的放射性

活度小于 400MBq，满足出院要求，甲亢患者服药后无异常情况即可离开核医学科。本项目甲亢治疗使用的  $^{131}\text{I}$  药物为外购药物（与甲癌治疗药物一同购入），甲亢治疗的工作流程如下：

①患者预约：需要接受  $^{131}\text{I}$  甲亢治疗的患者提前预约登记，核医学科工作人员根据医师的指导意见和处方剂量，统计  $^{131}\text{I}$  放射性药物的用量。

②购药、运输：用于甲亢治疗的  $^{131}\text{I}$  药物与甲癌治疗药物一并购入，供药商于周一早上 7 点之前负责将药物源罐运输至核素治疗区域的分装室，医院安排专人负责接收，经确认无误并在分装室的摄像头下完成“点对点”交接后，将  $^{131}\text{I}$  药物暂存在分装室通风橱内。

③药物分装、指导服药：甲亢治疗药物分装、服药流程与甲癌治疗一致。

④患者离开：患者服药后，无异常情况即可从指定出口离开核医学科。

本项目甲癌、甲亢治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-6。

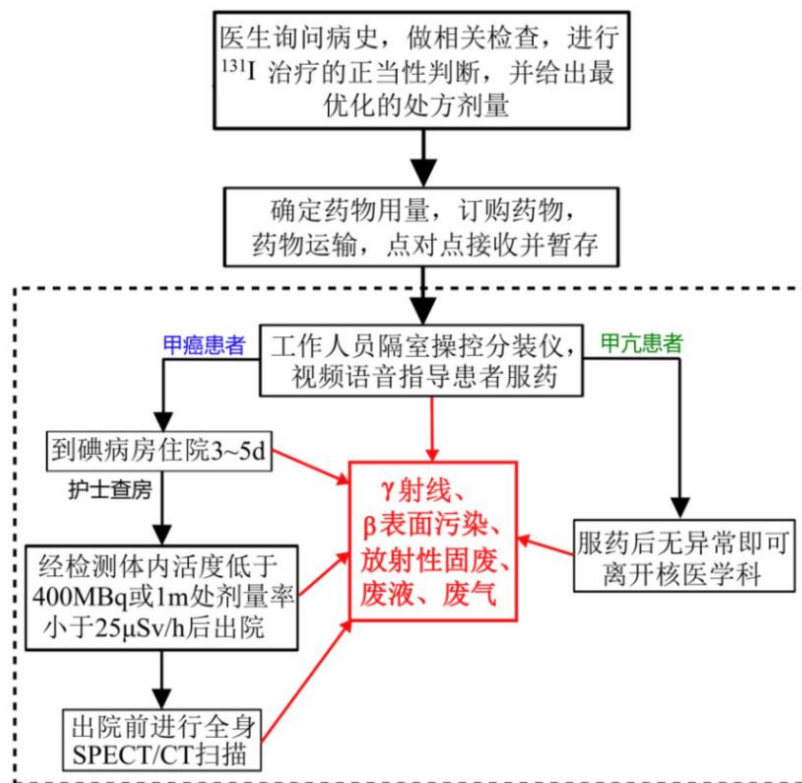


图9-6 甲癌、甲亢治疗工作流程及产污环节

#### 9.1.2.4 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗流程

根据医院提供的信息，本项目拟使用 1 枚  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器开展敷贴治疗，敷贴器直接从有销售资质的单位订购，销售厂家负责将  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器运送至敷贴治疗室，完成

交接手续后，将敷贴器贮存在敷贴治疗室的贮源箱内。使用时从贮源箱中取出，直接在敷贴治疗室内开展敷贴治疗。本项目  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴治疗流程如下：

①患者预约：接收患者，医生根据患者病灶的情况确定治疗方案、处方剂量及敷贴时间。

②治疗准备：工作人员引导患者进入敷贴治疗室，并核实治疗方案。根据病灶的形状修剪橡胶板或制作橡皮泥，保护病灶周围的正常皮肤，仅露出病灶范围。

③实施治疗：工作人员从贮源箱内取出敷贴器，持敷贴器手柄将敷贴器源窗面紧贴于病灶部位并固定，开始计时，达到预定治疗剂量时及时取掉。

④治疗结束：工作人员收回敷贴器并放回贮源箱内，患者离开敷贴治疗室。

⑤ $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器在使用期限内应每年进行 1 次衰变校正。废旧敷贴器应按密封源退役处理，退役的敷贴器由原销售厂家负责回收。

本项目  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴治疗流程及产污环节示意图见图 9-7。

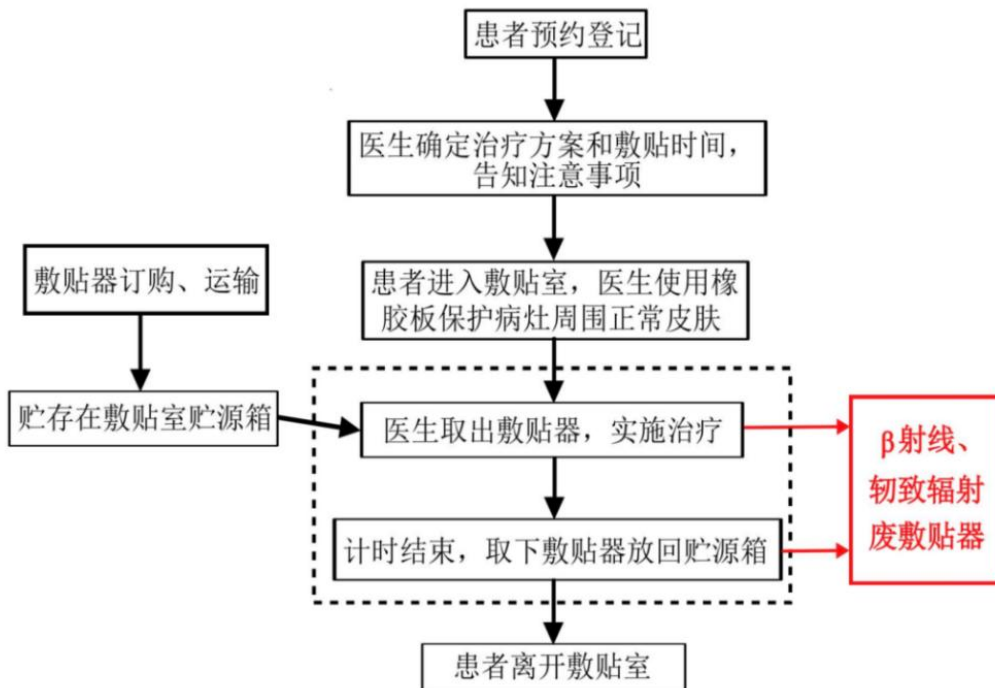


图9-7  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴治疗工作流程及产污环节

#### 9.1.2.5 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 骨转移癌治疗流程

①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，骨转移癌患者治疗时间在周末 1 天，避开了 SPECT/CT 诊断患者。 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$  药物在治疗当天上班前由药物生产厂家配送至 SPECT/CT 检查区域储源室，药物为成品药物，无需分装。

②患者按约定时间在给药前候诊区准备和等候。<sup>89</sup>Sr、<sup>153</sup>Sm 分开注射，即先进行<sup>89</sup>Sr 骨转移癌患者注射，然后 <sup>153</sup>Sm 骨转移癌患者注射，药物注射时间约 1min/人。

③准备好的患者经过专用通道进入注射室，穿戴好个人防护用品的注射医务人员在注射台前为患者注射药物。

④注射完成后患者通过专用通道离开核医学区域。

<sup>89</sup>Sr、<sup>153</sup>Sm 治疗骨转移癌工作流程及产污环节图见图 9-9。

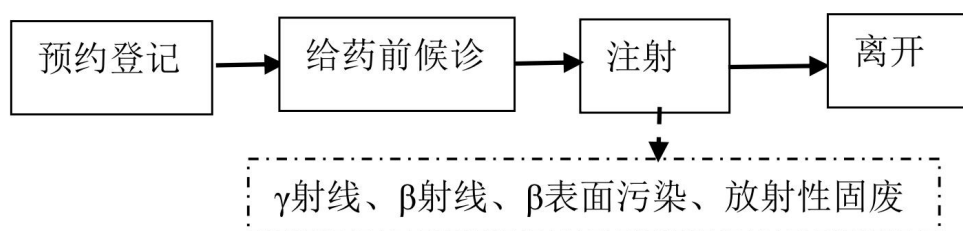


图 9-8 <sup>89</sup>Sr、<sup>153</sup>Sm 治疗骨转移癌工作流程及产污环节图

### 9.1.3 放射性核素的辐射特性

本项目核医学诊疗所使用的非密封放射性核素的主要辐射参数列于表9-1。

表9-1 本项目核医学科非密封放射性核素的主要辐射特性

核素名称	毒性分组	半衰期	主要衰变类型	主要射线及能量 (keV)	周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
<sup>18</sup> F	低毒	109.8min	$\beta^+$	$\beta^+$ (634)、 $\gamma$ (511)	0.143
<sup>68</sup> Ga	低毒	68.3min	$\beta^+$ 、EC	$\beta^+$ (1899)、 $\gamma$ (511)	0.134
<sup>99m</sup> Tc	低毒	6.02h	IT	$\gamma$ -141 (89%)	0.0303
<sup>131</sup> I	中毒	8.03d	$\beta^-$ 、 $\gamma$	$\beta^-$ -606 (89.6%)、334 (7.2%)； $\gamma$ -364 (81.5%)、637 (7.16%)、 284 (6.12%)；	0.0595
<sup>89</sup> Sr	中毒	50.5d	$\beta^-$	$\beta^-$ (1488)	—
<sup>153</sup> Sm	中毒	1.95d	$\beta^-$	$\beta^-$ (702)、 $\gamma$ (103.2)	0.072

### 9.1.4 工作负荷

本项目核医学科工作负荷、主要工作环节及工作时长统计见表9-2。

表9-2 本项目核医学科主要工作环节和操作时间

工作类型	主要操作环节	单次最长操作时间 (min)	年累计操作次数	年累计操作时长 (h)
PET/CT 显像诊断	药物分装	2	5000	166.7
	药物注射	1	5000	83.3

$^{18}\text{F}$	患者摆位	0.5	5000	41.7
	显像扫描	15	5000	1250
SPECT/CT 显像诊断 ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )	分装	2	6250	208.3
	药物注射	1	6250	104.2
	肺通气施药	5	1250	104.2
	患者摆位（门诊患者）	0.5	7500	62.5
	患者摆位（甲癌出院患者）	0.5	200	1.7
	显像扫描（门诊患者）	15	7500	1875
	显像扫描（甲癌出院患者）	20	200	66.7
甲癌治疗 ( $^{131}\text{I}$ )	自动分装仪操作	5	200	16.7
	指导服药	3	200	10.0
	甲癌住院查房	10	250	41.7
甲亢治疗 ( $^{131}\text{I}$ )	自动分装仪操作	5	2500	208.3
	指导服药	3	2500	125
骨转移癌治疗 ( $^{89}\text{Sr}$ )	药物注射	1	500	8.3
骨转移癌治疗 ( $^{153}\text{Sm}$ )	药物注射	1	250	4.2

### 9.1.5 人流、物流路径

#### (1) 核素治疗区域

##### ①辐射工作人员路线

1) 甲癌治疗工作人员路线：从核素治疗区域东侧卫生通过间进入分装室进行存放药物操作，完成工作后返回卫生通过间，在卫生通过间内用配备的便携式X- $\gamma$ 辐射监测仪及表面污染监测仪进行监测，经监测无污染后离开分装室。若有异常则进入淋浴间进行清洗，清洗后再做监测，直至无污染后才能离开。

2) 甲亢治疗工作人员路线：从核素治疗区域东侧卫生通过间进入分装室进行存放药物操作，完成工作后返回卫生通过间，在卫生通过间内用配备的便携式X- $\gamma$ 辐射监测仪及表面污染监测仪进行监测，经监测无污染后离开分装室。若有异常则进入淋浴间进行清洗，清洗后再做监测，直至无污染后才能离开。

##### ②患者路线

1) 甲癌患者路线：按约定时间，在护士站登记，从东侧医护走廊经缓冲区进入核素治疗区域，至服药窗口，自动分装给药，并将服药后的一次性杯丢入旁边的放射性

废物桶内，服药完成后沿患者走廊分别进入甲癌病房 1、2 住院休息，约 3~5 天后在全身残留剂量监测系统处确认体内放射性核素活度降低至 400MBq 或体表 1m 处剂量率低于 25 $\mu$ Sv/h 之后，经医护人员确认可以离开后，从工作场所北侧患者出口防护门自电梯间或沿楼梯间离开。

2) 甲亢患者路线：按约定时间，在护士台登记，从东侧医护走廊经缓冲区进入核素治疗区域，至服药窗口，自动分装给药，并将服药后的一次性杯丢入旁边的放射性废物桶内，服药完成后从工作场所北侧的患者出口防护门自电梯间或沿楼梯间离开。甲亢患者治疗时，要求核素治疗区域走廊内的甲癌患者均进入病房，且病房防护门均关闭。

### ③放射性药物路线

本项目的放射性药物  $^{131}\text{I}$  为外购，按约定时间（一般是 8:00 前）由供应商乘核医学专用电梯经患者走廊送至分装室。 $^{131}\text{I}$  由自动分装仪分装，患者自行服药，产生的放射性废物在分装室北侧废物室衰变至解控水平后按普通医用废物处理。

### ④放射性固废路线

辐射工作人员核素操作产生的放射性固废通过铅废物桶就近收集，然后定期由工作人员转移至污物暂存间内集中暂存衰变，待满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求的存放周期后并经人工检测符合标准要求后，通过患者走廊东侧防护门转移出控制区按普通医疗废物处理。

核素治疗患者住院使用的被褥、衣物等用品处理情况：甲癌患者使用过的被服出院前自行放置在被服衰变间，存放衰变至少一个半衰期后，待所有患者离院后，核医学科工作人员对被服表面进行表面污染和周围剂量当量率检测无异常后，再从被服衰变间取出，经患者出口带出核素治疗病房区域进行清洗。

本项目甲癌治疗患者和甲亢患者部分空间路线交叉，医院拟采用错时治疗措施，将甲癌治疗患者与甲亢治疗患者通过预约管理，错峰治疗，避免不同项目患者之间互相交叉。通过实行错时治疗措施后，本次核素病房能满足各项目患者之间路线不交叉的要求。

## (2) PET/CT 检查区域

### ①辐射工作人员路线

PET/CT机操作技师从北侧医护走廊进入经走道进入PET/CT控制室，然后通过控制室防护门进入机房内对患者进行摆位，摆位完成后返回PET/CT控制室。

分装/注射人员进入PET/CT区域卫生通过间，更衣后再进入分装室，在分装室通风橱箱内进行药物分装后，通过注射窗口给患者进行注射。工作结束后返回卫生通过间，在卫生通过间内用配备的便携式X-γ辐射监测仪及表面污染监测仪进行监测，经监测无污染后离开核医学科。若有异常则进行清洗，清洗后再做监测，直至无污染后才能离开核医学科。

### ②患者路线

患者按约定时间，在护士站登记，从南侧经缓冲区进入PET/CT检查区域患者走廊，沿患者走廊在注射窗口进行药物注射，注射后进入PET/CT注射后休息室或VIP注射后休息等待扫描，待听到呼叫系统的检查通知后，再沿患者走廊进入PET/CT机房接受扫描检查，检测完毕后从该机房出来进入PET留观/抢救室进行留观，观察无异常后再从设备间旁的核医学专用电梯离开。

### ③放射性药物路线

本项目的放射性药物<sup>18</sup>F为外购，按约定时间（上班前）由供应商乘医学科专用电梯经患者走廊送至分装室手套箱内。核医学科送药路径短捷，采取了管理措施在时间上确保将人流与物流分开，同时送药过程中药物储存在铅罐内并辅有防洒落措施。

### ④放射性固废路线

PET/CT检查区域产生的放射性固废通过铅废物桶就近收集，然后定期由工作人员转移至废物暂存间内集中，待满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求的存放周期后并经人工检测符合标准要求后，通过患者走廊乘核医学专用电梯移出控制区按普通医疗废物处理。

本项目PET/CT检查区域分装室辐射工作人员路线在空间上未与放射性药物运输路线、放射性废物转移路线重合，且放射性药物运送和放射性废物转移均采用错峰运输，放射性药物运送时间均要求供货单位在科室正式上班前送达，放射性废物转移均在下班后进行，因此本项目PET/CT检查区域工作人员、患者、放射性药物无时间、空

间的交叉。

### (3) SPECT/CT 检查区域

#### ①辐射工作人员路线

1)  $^{99m}\text{Tc}$ 显像工作人员路线：SPECT/CT机操作技师从南侧走廊经卫生通过间进入SPECT/CT控制室，然后通过控制室防护门进入SPECT/CT机房内对患者进行摆位，摆好位后返回SPECT/CT机房；注射人员从南侧走廊进入SPECT/CT检查区域卫生通过间，穿戴防护用品后再进入分装室，通过注射窗口给患者进行注射。工作结束后进入卫生通过间，在卫生通过间内用配备的便携式X- $\gamma$ 辐射监测仪及表面污染监测仪进行监测，经监测无污染后离开核医学科。若有异常则进入淋浴间进行清洗，清洗后再做监测，直至无污染后才能离开核医学科。

2) 骨转移癌工作人员路线：注射人员从南侧走廊经卫生通过间进入SPECT/CT检查区域的卫生通过间，穿戴防护用品后再进入分装室，通过注射窗口给患者进行注射。工作结束后返回卫生通过间，在卫生通过间内用配备的便携式X- $\gamma$ 辐射监测仪及表面污染监测仪进行监测，经监测无污染后离开核医学科。若有异常则进入淋浴间进行清洗，清洗后再做监测，直至无污染后才能离开核医学科。

3) 敷贴治疗医护人员路线：辐射工作人员从护士站进入接诊室，穿戴防护用品后再进入敷贴治疗室。对于 $^{90}\text{Sr}$ 敷贴治疗，工作人员从储源室保险箱中取出 $^{90}\text{Sr}$ 敷贴器。工作结束后到接诊室，对病人进行观察。

#### ②患者路线

1)  $^{99m}\text{Tc}$ 显像患者路线：患者按约定时间，在护士站登记，经北侧患者入口进入SPECT/CT检查区域，沿患者走廊进入注射室进行药物注射后进入SPECT/CT注射后休息室等待扫描，或在肺通气室、运动负荷室分别给药，待听到呼叫系统的检查通知后，再沿患者走廊进入SPECT/CT机房接受扫描检查，检测完毕后进入SPECT留观室进行留观，观察无异常后再从西侧的患者出口防护门乘核医学专用电梯或沿楼梯间楼梯离开。

2) 对于骨转移癌患者（ $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ ）：从核医学科候诊大厅的患者入口经缓冲区进入SPECT/CT检查区域，沿患者走廊进入注射室进行药物注射，注射后沿患者走廊从

西侧的患者出口防护门至核医学专用电梯或沿楼梯间楼梯离开。骨转移癌治疗时会提前预约，采用时间错峰控制避免骨转移癌患者（ $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ ）与SPECT/CT患者相互交叉。

3) 对于敷贴的患者：患者从核医学科候诊大厅进入敷贴室，敷贴治疗完毕后直接离开。

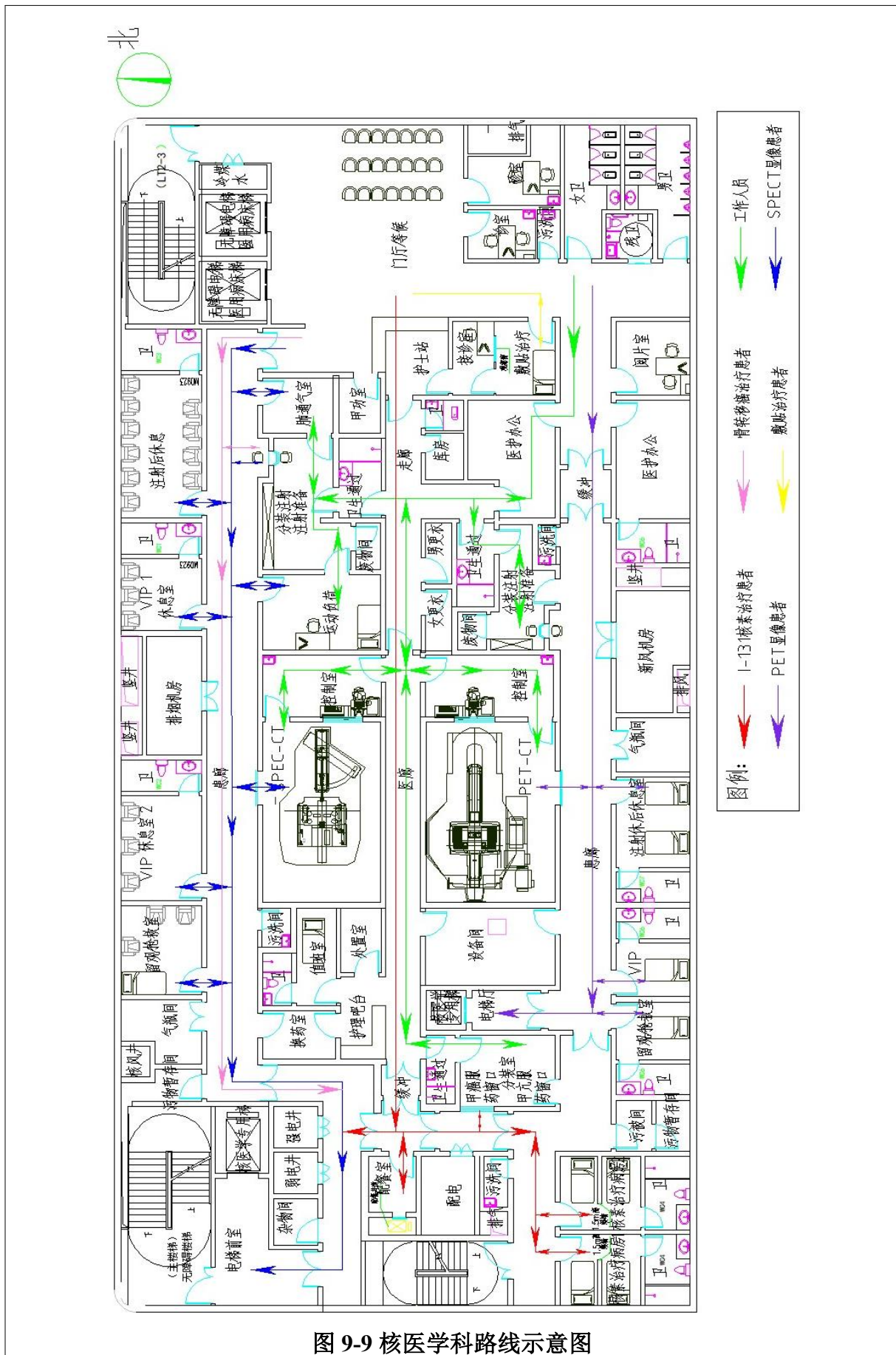
本项目骨转移癌治疗时提前预约，采用时间错峰控制避免骨转移癌患者（ $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ ）与SPECT/CT患者相互交叉。

### ③放射性药物路线

本项目的放射性药物  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ （放射源）为外购，按约定时间（上班前）由供应商经核医学专用电梯经患者走廊送至分装室、敷贴治疗室，其中  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 存放在手套箱内， $^{90}\text{Sr}$ （放射源）储存在敷贴治疗室保险柜内。

### ④放射性固废路线

SPECT/CT检查区域产生的放射性固废通过铅废物桶就近收集，然后定期由工作人员转移至污物暂存间内集中暂存衰变，待满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求的存放周期后并经人工检测符合标准要求后按普通医疗废物处理，通过患者走廊东南侧防护门转移出控制区。



本项目核医学科路线示意图见图 9-9，由图 9-9 可以看出，核医学工作场所功能用房齐全，放射性区域和非放射性区域相对分开，同时，设置有单独的医护走道出入口、患者走道出入口、不同项目患者通道采用时间错峰控制，保证了医护人员与注射后的患者行走路线、注射前患者和注射后的患者的行走路线、不同治疗项目患者行走路线之间不相互交叉，互相独立。分装室辐射工作人员路线在空间上无可避免地与放射性药物运输路线、放射性废物转移路线重合，但是考虑到放射性药物运送和放射性废物转移均采用错峰运输，放射性药物运送时间均要求供货单位在科室正式上班前送达，放射性废物转移均在下班后进行，因此在时间上可以避免人员路线与放射性药物、放射性废物路线交叉。核医学科患者从核素治疗区域、PET/CT检查区域、SPECT/CT检查区域沿楼梯间离开后均到达医院地面，出口处为草坪，无建筑及人员稠密区域。

建设单位拟采取错时诊疗措施，可有效避免不同项目患者之间互相交叉以及放射性药物、放射性废物运输路径与人员路径互相交叉。通过实行错时诊疗措施后，本次核医学科项目人流、物流路径能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的相关要求。

#### **9.1.6 $^{68}\text{Ge}$ 放射源使用项目**

本项目核医学科PET/CT区域使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$ 放射源， $^{68}\text{Ge}$ 放射源用于PET/CT机校准，均为V类放射源；设备校准的主要工作原理为利用放射源产生的 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线对设备进行质控校准。放射源的污染物包括 $\beta$ 射线、 $\gamma$ 射线。

PET/CT机校准频率一般为每半年一至两次，操作人员安装好校准放射源时间约 60min，则安装放射源年最大时间为 3h。

### **9.2 污染源项描述**

#### **9.2.1 施工期的污染源项**

建设单位主体土建工程已编制了环境影响报告书，报告书中施工期环境影响评价已包含本项目地下一层放疗科、核医学科、门急诊医技楼、住院楼的土建、装修期间的的环境影响，因此本次评价不再分析本项目机房建设施工期的影响，有关施工期影响详见主体工程报告书。

## 9.2.2 运行期的污染源项

本项目核医学科主要源项为放射性药物  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ ，以及敷贴治疗使用的  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器。因此，本项目核医学科显像诊断及门诊骨转移癌治疗期间的主要放射性污染物为  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  等核素产生  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线和放射性固废、废水和废气，以及 PET/CT 和 SPCT/CT 设备的 CT 机运行期间产生的 X 射线； $^{131}\text{I}$  核素治疗期间主要放射性污染物为  $^{131}\text{I}$  核素产生的  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线和放射性固废、废水和废气；此外，敷贴治疗期间主要放射性污染物为  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴源产生的  $\beta$  射线和韧致辐射 X 射线。

### 9.2.2.1 显像诊断污染途径分析

#### (1) 正常工况下的污染途径

①外照射影响：在进行  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性药物的交接、暂存、分装注射、患者候诊、患者摆位、显像检查或治疗等过程中，工作人员及周围公众可能受到放射性核素释放的  $\gamma$  射线外照射影响； $\beta$  射线由于在空气和人体组织中射程很短，对周围工作场所及人员的外照射影响较小。此外，在 PET/CT 设备和 SPCT/CT 设备的 CT 机运行期间，工作人员及周围公众还会受到 X 射线外照射的影响。

②内照射影响： $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物不易挥发，正常操作期间不会产生内照射，但肺通气施药需要使用锝气发生器生成  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气溶胶，因此在锝气制备和施药期间，工作人员可能吸入少量的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气溶胶，从而产生内照射影响。

③放射性固废：主要包括  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物操作产生的废弃注射器、针头、空药瓶、药盒、吸水纸、去污废物等；肺通气施药环节产生的一次性吸气管、咬嘴、过滤器、石墨坩埚和去污废物等；患者候诊期间产生的固体废物；以及排风系统的活性炭滤芯、高效过滤器等固体废物；放射性固废还包括退役的  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器；

④放射性废水：主要包括患者专用卫生间的冲厕废水和洗手废水，药物操作区域的洗手池废水，以及场所清污废水、应急废水等；

⑤放射性废气： $^{18}\text{F}$  药物多为  $^{18}\text{F}$ -脱氧葡萄糖 ( $^{18}\text{F}$ -FDG) 溶液，不易挥发。分装过程在专用通风橱内进行，分装时间较短，分装和注射过程中产生的放射性气体非常微量；肺通气施药期间可能产生微量的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气溶胶，经活性炭过滤吸附后，排放至环境大气的放射性废气很少，对周边公众和环境的影响很小。

⑥<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 敷贴源为由包壳和源窗密封包裹，正常使用期间不会发生放射性泄漏。<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 敷贴器贮存和使用期间会产生β射线和韧致辐射 X 射线，主要污染途径为外照射。

## (2) 事故工况下的污染途径

①药物意外洒漏：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，对工作人员和局部环境造成β放射性表面污染；

②<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y 敷贴源的包壳意外破裂，也会对周围环境和人员造成放射性危害；

③放射性物品保管不当，发生遗失或被盜：放射性药物、放射源失控可能造成环境放射性污染，对工作人员和公众造成误照射；

④放射性废物管理不善：放射性固体废物和放射性废水未暂存足够时间或者未按解控规定擅自处理，可能会造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众产生辐射危害；

⑤<sup>99m</sup>Tc 气溶胶泄漏或逸出：患者吸气时与工作人员配合较差，导致 <sup>99m</sup>Tc 气体泄漏或逸出；或施药结束后工作人员未要求患者继续呼吸清除管道和患者气道中 <sup>99m</sup>Tc 气体，可能造成部分 <sup>99m</sup>Tc 气溶胶弥散；锝气发生器的密封腔室或阀门泄漏可能导致 <sup>99m</sup>Tc 气体泄漏或逸出。

### 9.2.2.2 核素治疗的污染途径分析

#### (1) 正常工况的污染途径

①外照射影响：<sup>131</sup>I 核素发生β衰变时伴随发射 0.364MeV 的γ射线，因此在进行药物接收、分装服用、患者住院、巡视病人和处理放射性废物等操作时，辐射工作人员及周边公众可能受到 <sup>131</sup>I 释放的γ射线外照射影响；<sup>131</sup>I 核素发生的主要β射线最大能量为 0.606MeV，在人体皮肤（密度取 0.85g/cm<sup>3</sup>）中的最大射程约 2.5mm，β射线对周围工作场所及人员的外照射影响较小。

②内照射影响：<sup>131</sup>I 药物分装、服药患者住院期间会产生一定量的放射性固废、放射性废水和放射性废气，少量的 <sup>131</sup>I 核素可能通过吸入或食入进入人体内，会对辐射工作人员及周围公众造成一定量的内照射影响。

③放射性废水：主要包括  $^{131}\text{I}$  药物操作区域产生洗手废水和洗污废水、病房卫生间冲厕和淋浴废水，以及工作场所清洁废水。甲癌患者服药后，患者体内的放射性碘主要通过尿液和粪便排出，大约 55% 的  $^{131}\text{I}$  在最初 24h 排出体外，22% 在第 2 个 24h 排出，约总量的 85% 在最初 5d 内排出到废水衰变系统（数据引自北京大学医学出版社《ICRP 第 94 号出版物：非密封放射性核素治疗后患者出院考虑》），因此病房卫生间产生的冲厕和淋浴废水中  $^{131}\text{I}$  的活度浓度较大。含  $^{131}\text{I}$  的放射性废水应在衰变池内暂存超过 180 天，经监测达标并经审管部门同意后，排入医院污水处理站，集中处理后排入市政下水管网。

④放射性固体废物：主要包括药物操作过程中使用的一次性手套、服碘口杯和去污废物、患者住院的生活垃圾如一次性餐具、纸巾纸杯、废弃用品，以及排风口碘过滤器滤芯等；含  $^{131}\text{I}$  的放射性固废暂存超过 180 天后，经监测仪器检测满足解控水平后对固废进行清洁解控，按普通医疗废物的规定处理。甲癌患者使用过的被褥针头和病号服会有不同程度的污染，应当统一收集至污染被服间进行存放衰变，至少存放 1 个半衰期后再进行清洗。

⑤放射性废气。本项目核素治疗药物主要为碘 [ $^{131}\text{I}$ ] 化钠溶液，挥发性相对较低。采用自动分装仪进行分装，药物操作和患者服药期间较短，产生的放射性气体很少。此外，住院患者体内代谢的  $^{131}\text{I}$  有少量随呼出气进入空气中（ICRP 第 94 号出版物报道约 0.008%~0.03% 份额），因此，核素治疗区域应当设置排风系统，废气经碘过滤器吸附过滤后高空排放。

## （2）异常情况下的污染途径

①药物意外泼洒：甲癌或甲亢患者在服药时，不慎造成药杯翻倒、药物泼洒、药液未服用完等情况；或药物分装期间，自动分装仪故障或工作人员误操作，导致药液洒漏等情况。将会污染工作场所地面、墙壁、工作台面和设备等，会对工作场所周围环境及人员造成外照射和  $\beta$  放射性表面污染等辐射影响，还有可能被食入或吸入体内形成内照射危害。

②放射性药品保管不当，发生遗失或被盗： $^{131}\text{I}$  放射性药品（包括空的源罐）发生遗失或被盗，可能造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众造成额外照射；

③放射性废物管理不善：放射性固体废物和放射性废水未暂存足够时间或者未按解控规定擅自处理，或放射性污染被服未存放衰变足够的时间即返回清洗，以及患者服药后呕吐，可能会造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众造成辐射危害；

④住院患者管理不善：甲癌住院患者体内<sup>131</sup>I放射性活度或1m处剂量率未降至出院水平以下即离开核素治疗区域或出院离开，可能会对公众造成额外的不必要照射。

⑤错误给药：主要包括工作人员人为失误导致<sup>131</sup>I药物剂量偏离处方剂量，或药物给错患者导致的患者误照射；在未仔细核实的情况下对怀孕期或哺乳期妇女实施了<sup>131</sup>I治疗，进而导致的胎儿婴儿误照射。

**表10 辐射安全与防护**

**10.1 项目安全设施**

**10.1.1 工作场所布局**

本项目核医学科工作场所位于教学科研楼负一层，核医学科所在楼层四周均为土层。核医学科场所南侧、西侧和北侧均为土层，东侧为候诊区、诊室、医生办公和电梯厅等场所。核医学科楼上为影像科和办公场所，下方为预留后勤配套用房、衰变间。

本项目核医学科工作场所及其上下方平面布局示意图见图 1-5~图 1-7。

本项目核医学科工作场所SPECT/CT显像诊断区域、PET/CT显像诊断区域和核素治疗区域均分开布置，拟设置的用房如下：

SPECT/CT显像诊断区域内主要辐射场所包括：分装注射室、废物间、运动负荷室、肺通气室、注射后休息室、2间VIP注射后休息室、SPECT/CT机房、留观室、污洗间、患者走廊。

PET/CT显像诊断区域内主要辐射场所包括：分装注射室、废物间、注射后休息室、1间VIP注射后休息室、PET/CT机房、留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊。

核素治疗区域内主要辐射场所包括：分装室、废物间、病房 1、病房 2、抢救室、污被间、污洗间和患者走廊。此外，敷贴治疗室设置在场所的东部区域。

拟建的 2 套槽式衰变池系统位于核医学科场所地下 2 层西南侧，其中：

短半衰期衰变池系统用于暂存显像诊断场所废水，衰变池设有 1 个沉淀池；设有 3 个衰变槽轮流使用，单池有效容积为 10m<sup>3</sup>，总容积为 30m<sup>3</sup>。

长半衰期衰变池系统用于暂存核素治疗场所废水，衰变池设有 1 个沉淀池；设有 3 个衰变槽轮流使用，单池有效容积 30m<sup>3</sup>，总容积为 90m<sup>3</sup>。

**10.1.2 工作场所分区管理**

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中分区管理的相关要求，结合本项目场所布局，按照使用功能将核医学科工作场所划分为控制区和监督区。对于使用非密封放射性物质的核医学项目工作场所，应进行分区管理。将高辐射和可能发生高污染的区域划定为控制区，将控制区外较低辐射的区域划定为监督区，严格按区管理，避免人员误闯或误照，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

表 10-1 本项目核医学科工作场所分区情况

序号	辐射工作场所	控制区	监督区
1	PET/CT检查区域	分装注射室、废物间、注射后休息室、VIP注射后休息室、PET/CT机房、留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊	卫生通过间、女更衣室、医护办公室、控制室、新风机房、气瓶间、设备间、电梯厅、缓冲间
2	SPECT/CT检查区域	分装注射室、废物间、运动负荷室、肺通气室、注射休息室、2间VIP注射后休息室、SPECT/CT机房、留观兼抢救室、污洗间、患者走廊	东侧和西侧楼梯间、走廊、甲功室、卫生通过间、控制室、医护走廊、处置室、值班室、换药室
3	核素治疗区域	分装室、废物间、病房 1、病房 2、抢救室、污被间、污洗间和患者走廊、敷贴治疗室	楼梯间、电梯厅、配电室、走廊
4	敷贴治疗室	敷贴治疗室	接诊室、走廊、医护办公室
5	衰变间区域	衰变间	衰变间墙体外 30cm

本项目核医学科分区管理示意图见图 10-1。

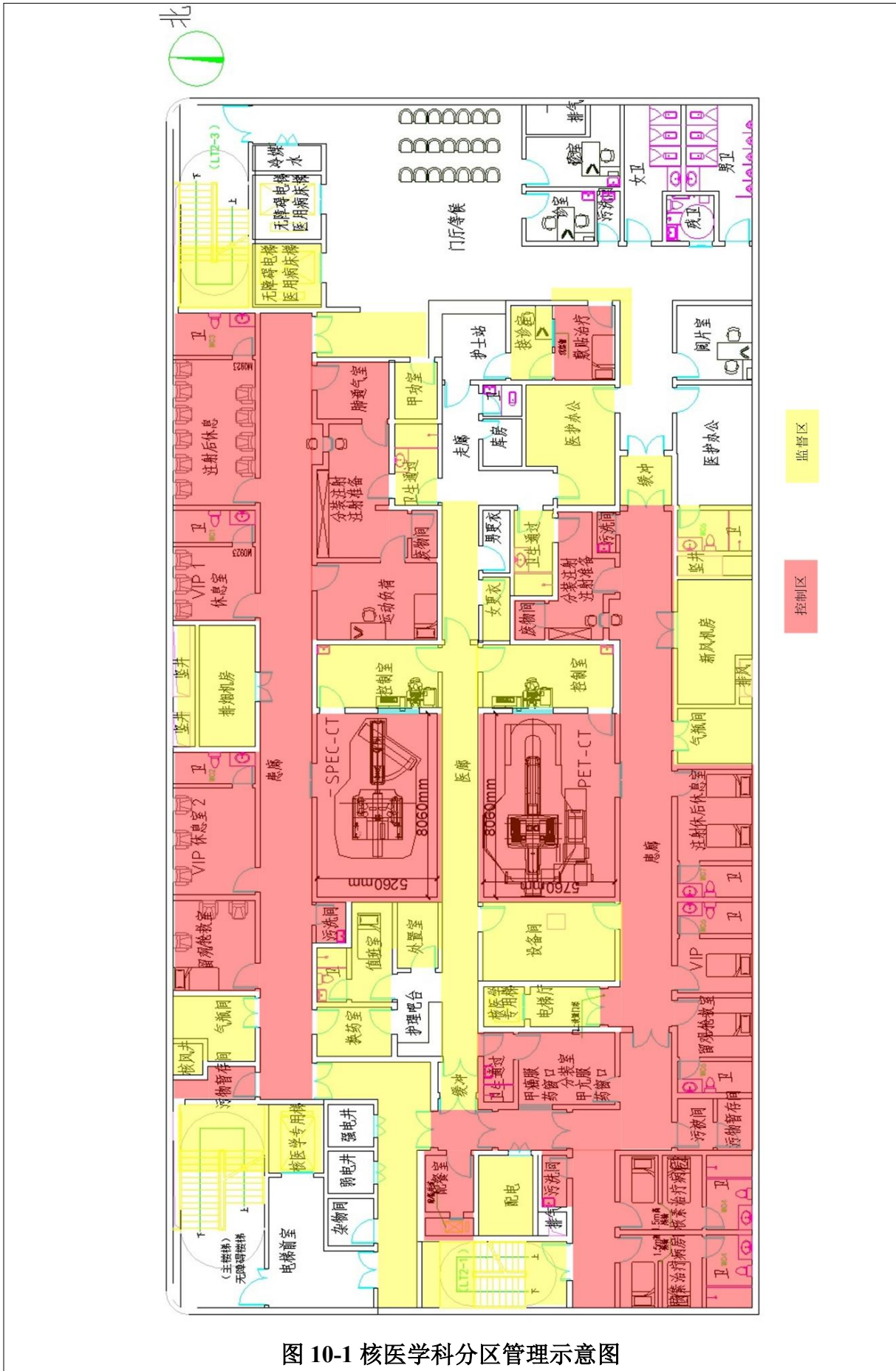


图 10-1 核医学科分区管理示意图

### 10.1.3 工作场所分级

根据《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。

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）可知，有相对独立、明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算。

本项目核素治疗区域作为一个独立场所进行日等效最大操作量核算，PET/CT检查区域、SPECT/CT检查区域各作为独立场所进行日等效最大操作量核算。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定以及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A 关于放射性核素操作方式修正因子的选取规定，本项目核医学工作场所日等效最大操作量计算结果见表 10-2。

表10-2 本项目核医学科日等效最大操作量核算

场所	核素名称	毒性分组	毒性组别修正因子	状态	操作方式	操作方式与状态修正因子	日最大操作量 (Bq) *	日等效最大操作量 (Bq)	场所等级
PET/CT 显像	<sup>18</sup> F	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	1.11E+10	1.11E+07	乙级
	<sup>68</sup> Ga	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	3.70E+09	3.70E+06	
SPECT/CT 显像	<sup>99m</sup> Tc	低毒	0.01	液体	很简单的操作	10	2.31E+10	2.31E+07	乙级
	<sup>99m</sup> Tc (气溶胶)	低毒	0.01	气体	简单操作	1	3.70E+09	3.70E+07	
骨转移癌治疗	<sup>89</sup> Sr	中毒	0.1	液体	简单操作	1	2.96E+10	2.96E+09	乙级
	<sup>153</sup> Sm	中毒	0.1	液体	简单操作	1	3.70E+09	3.70E+08	
核素治疗	<sup>131</sup> I	甲癌	中毒	0.1	液体	简单操作	1	2.96E+08	乙级
		甲亢	中毒	0.1	液体	简单操作	1	1.85E+09	

根据表10-2可知，本项目核素治疗区域、PET/CT检查区域、SPECT/CT检查区域均为乙级非密封放射性物质工作场所。

### 10.1.4 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第5.2.2条的要求，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。本项目放射性核素的毒性权重因子见表10-4，不同操作性质的修正因子见表10-5，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 G，本项目工作场所各核素的加权活度核算结果见表10-5。

表 10-3 本项目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	<sup>131</sup> I、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>153</sup> Sm	100
B	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc	1

表 10-4 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

注：数据来源于 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Medicine Resources Manual, IAEA, Vienna (2006)。

表10-5 本项目工作场所各核素最大加权活度核算结果

区域	场所	核素	操作性质	日操作最大活度 (Bq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	总加权活度 (MBq)	场所分类
SPECT/CT 工作场所	分装注射室	<sup>99m</sup> Tc	贮存	2.78E+10	1	100	2.78E+2	I
		<sup>89</sup> Sr	贮存	2.96E+8	100	100	2.96E+2	
		<sup>153</sup> Sm	贮存	1.85E+9	100	100	1.85E+3	
		<sup>99m</sup> Tc	分装、注射	2.78E+10	1	1	2.78E+4	
		<sup>89</sup> Sr	分装	2.96E+8	100	1	2.96E+4	
		<sup>153</sup> Sm	分装	1.85E+9	100	1	1.85E+5	
	运动负荷室	<sup>99m</sup> Tc	给药	9.25E+8	1	1	9.25E+2	II
	肺通气室	<sup>99m</sup> Tc	给药	7.40E+8	1	1	7.40E+2	II
	注射后休息兼抢救室（含卫生间）	<sup>99m</sup> Tc	候诊	9.25E+8	1	10	9.25E+1	II
	VIP候诊室1（含卫生间）	<sup>99m</sup> Tc	候诊	9.25E+8	1	10	9.25E+1	II
	VIP候诊室2（含卫生间）	<sup>99m</sup> Tc	候诊	9.25E+8	1	10	9.25E+1	II
SPECT/CT机房	<sup>99m</sup> Tc	显像	9.25E+8	1	10	9.25E+1	II	

	留观室	<sup>99m</sup> Tc	患者留观	9.25E+8	1	10	9.25E+1	II
	废物间	<sup>99m</sup> Tc	废物处理	9.25E+8	1	10	9.25E+1	II
PET/CT 工作场所	分装注射室	<sup>18</sup> F	贮存	1.11E+10	1	100	1.11E+02	II
		<sup>68</sup> Ga	贮存	3.70E+9	1	100	3.70E+1	
		<sup>18</sup> F	分装、注射	1.11E+10	1	1	1.11E+04	
		<sup>68</sup> Ga	分装、注射	3.70E+9	1	1	3.70E+3	
	注射后候诊室（含卫生间）	<sup>18</sup> F	候诊	5.55E+9	1	10	5.55E+02	II
	VIP候诊室（含卫生间）	<sup>18</sup> F	候诊	5.55E+9	1	10	5.55E+02	II
	PET/CT机房	<sup>18</sup> F	显像	5.55E+9	1	10	5.55E+02	II
留观/抢救室（含卫生间）	<sup>18</sup> F	患者留观	5.55E+09	1	10	5.55E+02	II	
<sup>131</sup> I核素治 疗工作场所	分装室	<sup>131</sup> I	分装、给药	3.33E+10	100	1	3.33E+06	I
		<sup>131</sup> I	贮存	3.33E+10	100	100	3.33E+04	
	配餐室	<sup>131</sup> I	取餐	7.40E+9	100	1	7.40E+05	I
	病房1（含卫生间）	<sup>131</sup> I	病床	1.48E+10	100	1	1.48E+06	I
	病房2（含卫生间）	<sup>131</sup> I	病床	1.48E+10	100	1	1.48E+06	I
	污被间	<sup>131</sup> I	废物处理	3.33E+09	100	10	3.33E+04	II

根据上表核算结果，本项目核医学科SPECT/CT工作场所分装注射室、<sup>131</sup>I核素治疗区的分装室、配餐室、病房1、病房2按I类场所管理，其他区域均按照II类场所进行管理。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）5.2.2条的要求，本项目核医学科工作场所室内表面及结构的防护要求见表10-6。

**表10-6 本项目核医学科工作场所室内表面及结构的防护要求**

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 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

<sup>b</sup>洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制

### 10.1.5 工作场所安全管理措施

(1) 警示措施：核医学科控制区入口门外、控制区内各功能间门外以及其他重要位置处，应设置标准的电离辐射警告标志和中文警示说明。工作场所控制区出入口处应设置控制区标识（红色标识或地线），监督区出入口处应设置监督区标识（黄色标识或地线）。

(2) 门禁系统：患者走廊入口门设置单向门禁（单向进），从里面出来需刷卡，患者走廊出口门设有单向门禁（单向出），从外面进入需刷卡，以实现患者单向通过目的。放射性药物操作区出入口设置门禁（进出均须刷卡），严禁无关人员进入；工作场所其他重要出入口处也应设置门禁装置，防止人员随意进出。

(3) 视频监控和对讲措施：

显像诊断区域：在废物间、分装注射室、PET候诊室、SPECT候诊室、留观兼抢救室、PET/CT机房、SPECT/CT机房内以及患者走廊两端安装视频监控装置，方便观察和管理给药患者的活动。患者出入口门外的监督区内也应设有视频监控装置；在PET候诊室、SPECT候诊室、留观兼抢救室以及PET/CT机房、SPECT/CT机房、患者走廊内等区域设置语音对讲和应急呼叫系统。

核素治疗区域：在废物间、分装室、病房以及患者走廊两端均安装视频监控装置，方便观察和管理住院患者的活动。患者入口门外、工作人员出入口门外的监督区内也应设有视频监控装置；在分装室、病房、患者走廊内等区域设置语音对讲和应急呼叫系统。

(4) 路线引导：核医学科地面应设置不同颜色的导流路线和文字标识，告知患者按指定颜色路线移动，方便患者快速找到注射或服药窗口、候诊室、扫描机房、病房等位置。

(5) 外购药物：外购的放射性物品均从核医学专用楼梯进入核医学科，并在核医学开诊前无患者的时间段送达，与就诊患者实现时间隔离。

### 10.1.6 工作场布局合理性分析

本项目核医学科工作场所的显像诊断区域和核素治疗区域分开布置，工作场所拟采取分区管理标识、电离辐射警示标识、门禁系统等安全措施。本项目核医学科平面布局和分区与标准要求的对照分析情况见表10-7。

表10-7 核医学科场所布局和分区与标准要求的对照分析表

《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020)	《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021)	本项目场所情况
<p>5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据GB 18871的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。</p>	<p>4.3.1 应按照GB 18871的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，进行相应的管理。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>控制区：SPECT/CT显像检查区域的分装注射室、运动负荷室、肺通气室、注射休息兼抢救室、2间VIP休息室、SPECT/CT机房、留观室、污洗间、患者走廊、废物间；PET/CT显像检查区域分装注射室、废物间、注射后休息室、1间VIP注射后休息室、PET/CT机房、留观兼抢救室、污洗间、患者走廊；核素治疗区域的分装室、废物间、病房1、病房2、抢救室、污被间、污洗间、患者走廊；此外，核医学科东侧的敷贴治疗室。衰变池内部均划为控制区；监督区主要包括医护办公室、值班室、处置室、新风机房、医护走廊、控制室，以及卫生通过间、淋浴间、更衣室、核医学患者出口候梯厅等区域。控制区入口均设置电离辐射警告标志和控制区标识，监督区入口处均设置监督区标识。</p>
<p>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干扰影像质量； 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，进行污染监测。</p>	<p>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检测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。</p>	<p>本项目工作场所控制区出入口和其他重要出入口均设置了门禁装置，可有效控制无关人员随意出入，限制给药后患者随意流动；放射性药物操作区出入口处均设置了卫生通过间、更衣室和淋浴间，为工作人员提供更换衣物、防护用品、淋浴和表面污染监测设备；注射后候诊室、病房内均设有给药患者专用卫生间。</p>
<p>5.1.5 核医学工作场所的布局应有利于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区（病房）的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。</p>	<p>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。尽量减少放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。</p>	<p>本项目工作场所显像诊断区域和核素治疗区域分开布置；控制区相对集中，放射性药物操作区域布置均相对集中，注射窗口靠近患者候诊室，服碘窗口靠近病房；放射性药物有固定的贮存位置，药物暂存于各区域通风橱内；放射性废物分开收集。</p>

<p>5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置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。</p>	<p>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。</p>	<p>采用空间隔离和时间隔离的方法，设置了相对独立的医护人员、患者、放射性药物、放射性废物路径，满足给药后患者路径与给药前患者路径不交叉，给药后患者路径与工作人员路径不交叉；放射性药物和放射性废物的运输均安排在工作开始前或结束后进行，与人员路径实现了时间隔离；放射性药物和放射性废物运送通道均较为短捷。便于清污工作的开展。</p>
<p>5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下： a)对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房； b)对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房； c)诊断和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房； d)对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用。</p>		<p>诊断工作区域主要包括：分装注射室、废物间、运动负荷室、肺通气室、PET候诊室及卫生间、SPECT候诊室及卫生间、PET/CT机房、SPECT/CT机房、留观兼抢救室、污洗间等功能用房； 治疗工作区域主要包括：分装室、废物间、病房及卫生间、污被间、污洗间等功能用房。 此外，由于敷贴治疗的辐射污染很小，因此敷贴治疗室独立设置在门诊入口附近，可减少人员不必要照射和污染。</p>

本项目核医学场所“两区”划分明确，各功能区域相对独立，功能设置齐全，人流、物流路径设置合理，放射性药物和放射性废物运送通道较为短捷，可有效防止交叉污染，有助于工作的开展，场所布局满足《核医学放射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）提出的要求。因此，总体认为本项目工作场所布局合理。

### 10.1.7 工作场所实体屏蔽设计

本项目使用的各种放射性核素衰变过程会产生不同能量的射线，核医学工作场所采用混凝土、水泥砖、铅板和铅玻璃等作为主要屏蔽材料，屏蔽设计见表10-8。

表10-8 本项目核医学科工作场所实体屏蔽设计情况

区域	房间名称	屏蔽体	毗邻场所	屏蔽材料及厚度
SPECT/CT 检查	分装注射室	东墙	肺通气室	240mm水泥砖
		南墙	废物间、卫生通过间	240mm水泥砖
		西墙	运动负荷室	240mm水泥砖
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖

		东侧防护门	肺通气室	3mm铅板
		南侧防护门	卫生通过间	3mm铅板
		西侧防护门	运动负荷室	3mm铅板
		注射窗	患者走廊	5mmPb铅注射窗
		顶棚	PET/MR机房、走廊	300mm混凝土
		地板	预留后勤配套用房	250mm混凝土
	运动负荷室	东墙	分装注射室、废物间	240mm水泥砖
		南墙	医护走廊	240mm水泥砖
		西墙	SPECT/CT控制室	240mm水泥砖
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖
		东侧防护门	分装注射室	3mm铅板
		北侧防护门	患者走廊	3mm铅板
		顶棚	设备间、PET/MR机房、走廊	300mm混凝土
		地板	预留后勤配套用房	250mm混凝土
	肺通气室	东墙	走廊	240mm水泥砖
		南墙	医护走廊、护士站	240mm水泥砖
		西墙	分装注射室、卫生通过间	240mm水泥砖
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖
		北侧防护门	患者走廊	3mm铅板
		西侧防护门	分装注射室	3mm铅板
		顶棚	更衣室、走廊	300mm混凝土
		地板	预留后勤配套用房	250mm混凝土
	注射后休息 兼抢救室 (含卫生间)	东墙	楼梯间	240mm水泥砖
		南墙	患者走廊	240mm水泥砖
		西墙	VIP候诊室(含卫生间)	240mm水泥砖
		北墙	土层	土层
		防护门	患者走廊	3mm铅板
		顶棚	控制走廊	300mm混凝土
		地板	预留后勤配套用房	250mm混凝土
VIP候诊室1 (含卫生间)	东墙	楼梯间	240mm水泥砖	
	南墙	患者走廊	240mm水泥砖	
	西墙	VIP候诊室(含卫生间)	240mm水泥砖	
	北墙	土层	土层	
	防护门	患者走廊	3mm铅板	
	顶棚	控制走廊	300mm混凝土	
	地板	报警阀间	250mm混凝土	
VIP候诊室2 (含卫生间)	东墙	排烟机房	240mm水泥砖	
	南墙	患者走廊	240mm水泥砖	
	西墙	留观室	240mm水泥砖	
	北墙	土层	土层	

		防护门	患者走廊	3mm铅板	
		顶棚	控制走廊	300mm混凝土	
		地板	预留后勤配套用房	250mm混凝土	
	SPECT/CT 机房	东墙	控制室	240mm水泥砖	
		南墙	医护走廊	240mm水泥砖	
		西墙	设备间	240mm水泥砖	
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖	
		东侧防护门	控制室	3mm铅板	
		北侧防护门	患者走廊	3mm铅板	
		观察窗	控制室	3mmPb铅玻璃	
		顶棚	CT机房、DR机房、走廊	250mm混凝土	
		地板	预留后勤配套用房	250mm混凝土	
		留观室	东墙	VIP候诊室2（含卫生间）	240mm水泥砖
	南墙		患者走廊	240mm水泥砖	
	西墙		气瓶间	240mm水泥砖	
	北墙		土层	土层	
	防护门		患者走廊	3mm铅板	
	顶棚		卫生间、走廊、CT机房	300mm混凝土	
	地板		预留后勤配套用房	250mm混凝土	
	污物暂存间	东墙	气瓶间	240mm水泥砖	
		南墙	患者走廊	240mm水泥砖	
		西墙	楼梯间	240mm水泥砖	
		北墙	土层	土层	
		防护门	患者走廊	3mm铅板	
		顶棚	卫生间	300mm混凝土	
		地板	预留后勤配套用房	250mm混凝土	
	患者走廊	防护门（入口）	走廊	3mm铅板	
		防护门（出口）	走廊	3mm铅板	
	PET/CT 工作场所	分装注射室	东墙	医护办公室	300mm 水泥砖
			南墙	患者走廊	240mm 水泥砖
西墙			控制室	240mm 水泥砖	
北墙			更衣、卫生通过间	240mm 水泥砖	
南侧防护门			患者走廊	15mm 铅板	
北侧防护门			卫生通过间	15mm 铅板	
注射窗			候诊大厅、室外空地	40mmPb 铅注射窗	
顶棚			候诊大厅、室外空地	300mm 混凝土	
地板			预留后勤配套用房	250mm 混凝土	
注射后候诊 室（含卫生 间）		东墙	气瓶间	240mm水泥砖	
		南墙	土层	土层	
		西墙	VIP候诊室（含卫生间）	240mm水泥砖	
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖	

		防护门	患者走廊	10mm 铅板	
		顶棚	室外空地	300mm 混凝土	
		地板	预留后勤配套用房	250mm 混凝土	
	VIP候诊室 (含卫生间)	东墙	注射后候诊室(含卫生间)	240mm水泥砖	
		南墙	土层	土层	
		西墙	留观/抢救室	240mm水泥砖	
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖	
		防护门	患者走廊	10mm 铅板	
		顶棚	室外空地	300mm 混凝土	
		地板	衰变池	250mm 混凝土	
		PET/CT机 房	东墙	控制室	240mm 水泥砖
			南墙	患者走廊	240mm 水泥砖
	西墙		设备间	240mm 水泥砖	
	北墙		医护走廊	300mm 水泥砖	
	东侧防护门		控制室	10mm铅板	
	南侧防护门		患者走廊	6mm铅板	
	观察窗		控制室	10mmPb铅观察窗	
	顶棚		候诊大厅、室外空地	300mm混凝土	
	地板		预留后勤配套用房	250mm混凝土	
	留观/抢救 室(含卫生 间)	东墙	VIP候诊室(含卫生间)	240mm水泥砖	
		南墙	土层	土层	
		西墙	污被间	240mm水泥砖	
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖	
		防护门	患者走廊	10mm铅板	
		顶棚	室外空地	300mm混凝土	
		地板	衰变池	250mm混凝土	
	患者走廊	防护门(入口)	缓冲间	10mm铅板	
		防护门(出口)	电梯厅	15mm铅板	
	<sup>131</sup> I核素治 疗	分装室	东墙	电梯厅	240mm水泥砖
			南墙	患者走廊	240mm水泥砖
西墙			患者走廊	240mm水泥砖	
北墙			卫生通过间	240mm水泥砖	
南侧防护门			患者走廊	10mm铅板	
北侧防护门			卫生通过间	10mm铅板	
服药窗口			患者走廊	15mmPb注射窗	
顶棚			调解室、室外空地	300mm混凝土	
地板			预留后勤配套用房	250mm混凝土	
核素治疗病 房1(含卫 生间)		东墙	病房2	240mm水泥砖	
		南墙	土层	土层	
		西墙	土层	土层	

		北墙	患者走廊	240mm水泥砖
		防护门	患者走廊	15mm铅板
		顶棚	室外空地	300mm混凝土
		地板	衰变池	250mm混凝土
	核素治疗病房2（含卫生间）	东墙	污被间、患者走廊	240mm水泥砖
		南墙	土层	土层
		西墙	病房1	240mm水泥砖
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖
		防护门	患者走廊	15mm铅板
		顶棚	室外空地	300mm混凝土
		地板	衰变池	250mm混凝土
	污被间	东墙	留观/抢救室（含卫生间）	240mm水泥砖
		南墙	土层	土层
		西墙	病房2	240mm水泥砖
		北墙	患者走廊	240mm水泥砖
		防护门	患者走廊	15mm铅板
		顶棚	室外空地	300mm混凝土
		地板	衰变池	300mm混凝土
	配餐室	东墙	患者走廊	240mm水泥砖
		南墙	配电室	350mm水泥砖
		西墙	楼梯间	240mm水泥砖
		北墙	走廊	350mm水泥砖
		防护门	患者走廊	15mm铅板
		顶棚	警务室	300mm混凝土
		地板	楼梯间	250mm混凝土
	患者走廊	防护门（入口）	PET/CT检查患者走廊	15mm铅板
		防护门（出口）	走廊	15mm铅板

### 10.1.8 工作场所辐射安全与防护措施

#### (1) 表面污染控制措施

控制区地面采用无缝隙、防渗，且易清洗去污的材料覆盖（如PVC地板革），墙面1.5m高度采用易清洗去污的防渗墙裙（如铝塑板或釉面瓷砖），并确保地面与墙壁接缝处无缝隙；放射性药物通风橱、注射窗等工作台面选用表面光洁、耐腐蚀、防渗漏、易去污的材料；所有放射性药物操作区域的洗手盆计划采用非接触感应式水龙头；为放射性药物操作人员配备防护服、乳胶手套，分装注射室器械柜内拟配备足量的去污用品和试剂。

#### (2) 外照射防护措施

①场所屏蔽措施：核医学科控制区边界、药物操作区域、候诊室和扫描机房采取混凝土、水泥砖、铅防护门和铅玻璃等实体屏蔽措施，确保核医学科工作场所控制区边界外30cm处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

②药物操作防护：PET/CT检查区域分装注射室内配备1个通风橱（正面50mmPb，其余面40mmPb），用于 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 药物的暂存和分装操作，配备1个注射器转运铅盒（20mmPb）；SPECT/CT检查区域分装注射室内配备1个通风橱（10mmPb），用于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 的暂存和分装操作，配备1个注射器转运铅盒（10mmPb）； $^{131}\text{I}$ 分装室内配备1个通风橱（正面50mmPb，其余面40mmPb），用于 $^{131}\text{I}$ 的暂存和分装操作。

③药物注射防护：3间分装/注射室均拟安装1个注射/给药铅玻璃窗，运动负荷室配备1个可移动的铅防护注射车，减少注射期间工作人员受照剂量，PET注射窗防护厚度40mmPb，SPECT注射窗防护厚度10mmPb，服碘窗防护厚度50mmPb，注射车防护厚度10mmPb；配备2个注射防护套，防护厚度不低于10mmPb和5mmPb。

医院拟配备全自动核素药物分装仪对甲亢和甲癌患者服用的 $^{131}\text{I}$ 进行分装，分装仪置于分装室通风橱内，该仪器自带屏蔽，防护厚度不低于40mmPb。进行 $^{131}\text{I}$ 药物分装前，工作人员穿戴防护用品，然后将 $^{131}\text{I}$ 药物铅罐放入全自动分装仪内，在控制系统上输入 $^{131}\text{I}$ 药物活度、标定时间等参数，设定稀释蒸馏水的体积，系统会自动完成母液稀释处理、定量分配、在线活度测量和体积配比等全部工作，处理好的药液引入设备内预先放置好的一次性杯子中，患者在服碘窗口处自行拿取药杯服用；服药区与分装室之间设置视频监控和对讲装置，工作人员通过视频和语音指导患者服药，引导患者将服碘口杯放于指定的废物桶内。

#### ④铅防护废物桶

SPECT/CT显像诊断区域计划配备10个铅废物桶用于固体放射性废物的收集，其中：分装注射室、运动负荷室、肺通气室、SPECT/CT机房、留观室各配备1个，SPECT候诊室、VIP候诊室1~2、废物间内各配备2个。

PET/CT显像诊断区域计划配备6个铅废物桶用于固体放射性废物的收集，其中：分装注射室、PET/CT机房各配备1个；注射后候诊室、VIP候诊室、留观抢救

室、废物间内配备2个。

核素治疗区域计划配备11个铅废物桶用于固体放射性废物的收集，其中：服碘窗口外和分装室内各设1个，病房1~2各配备2个，污被间配备5个。

所有铅废物桶应内衬不易破损的塑料袋，废物桶外表面应张贴电离辐射警示标志。

#### ⑤个人防护用品

SPECT/CT工作场所配备3套0.5mmPb个人防护用品（铅衣、铅帽、铅颈套）。

#### ⑥候诊室/病房患者防护

PET候诊室设置1张隔断板，SPECT候诊室设置2张隔断板，SPECT留观室设置1张隔断板，用于减少患者之间的相互照射。

每间病房可容纳2名患者，各设置1隔断墙，用于减少住院患者之间的相互照射。

### (3) 内照射的防护

放射性药物的操作在通风橱内进行，一旦发生放射性污染，应收集污染物，先采用吸水纸擦除方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置；通风橱通风口处设有高效过滤器，肺通气室内配备1套集气罩，通风橱和肺通气集气罩共用1套独立的排风系统，排风管道引至教学科研楼楼顶排放，楼顶排风口处设有活性炭过滤装置；在分装注射室、运动负荷室、肺通气室、废物间、注射窗口、PET候诊室、SPECT候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房等其他场所均设置排风口，排风管道内安装止回阀。显像诊断区域排风通过独立排风管道引至教学科研楼楼顶排放，楼顶排风口处设有活性炭过滤装置。

在碘分装室、废物间、病房、污被间、污洗间等场所均设置排风口，排风口处安装止回阀。核素治疗区域设有独立排风系统，场所废气经汇聚后，通过独立排风管道引至教学科研楼楼顶排放（，楼顶排风口处设有碘过滤装置（过滤效率99%）；工作人员在进入核素治疗区域前，应穿戴防护服和乳胶手套，佩戴N95口罩，减少放射性气溶胶的吸入，限制暴露在污染环境中的时间。一旦核素治疗场所发生放射性

污染，应及时去污，并收集污染物，视情况划定临时控制区或采取场所封闭措施，减少放射性碘污染物扩散。

#### （4）放射性废水的收集

显像诊断区域的分装注射室、卫生通过间、淋浴间、污洗间、洗手池废水和洗污废水，患者候诊室卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入短半衰期衰变池；放射性废水管道均位于核医学科区域的地下，对周围的辐射影响较小；衰变池前端设有1个沉淀池；设有3个衰变槽轮流使用，单池有效容积为10m<sup>3</sup>，总容积为30m<sup>3</sup>。

核素治疗区域的分装室、卫生通过间、淋浴间、污洗间的洗手池废水和洗污废水，病房卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入长半衰期衰变池；放射性废水管道均位于核医学科区域的地下二层，对周围的辐射影响较小；衰变池前端设有1个沉淀池；设有3个衰变槽轮流使用，单池有效容积为30m<sup>3</sup>，总容积为90m<sup>3</sup>。

#### （5）辐射监测

PET/CT、SPECT/CT显像诊断区域各配备1台表面污染检测仪，用于工作场所表面污染。辐射工作人员在进行放射性药物操作前，应穿戴防护服和乳胶手套，离开控制区前应进行体表和操作台表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，须立即采取去污措施；本项目显像诊断区域的表面污染日常监测于每日工作结束后进行。

核素治疗区域配备1台表面污染监测仪和1台患者离院前固定式剂量率监测仪，分别用于工作场所表面污染和患者出院前1m处剂量率的测量；工作人员离开控制区前应进行体表和操作台表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，须立即采取去污措施；患者离院前剂量率检测仪放置在患者走廊内，患者离院前应进行剂量率检测，距离患者体表1m处周围剂量当量率低于25μSv/h方可安排出院；本项目核素治疗区域的表面污染监测于每周所有患者均出院后进行。

建设单位拟在核医学科工作场所进行自主辐射剂量率水平监测，自行监测频次不少于1次/月，自行监测数据应记录存档。

### (6) 安全保卫措施

安装闭路监视系统、门禁系统等，工作场所设置火灾自动报警装置、应急逃生出口指示和足量的灭火器材。

### (7) 药品订购、运输、交接措施

根据实际预约量按需订购放射性药品，送药车辆进入医院后抵达教学科研楼的西北角，送药人员乘电梯下到负一层核医学科北侧入口，将I药品送入相应区域分装注射室通风橱内；送药时间安排在早上7点之前医院人较少的时间，以减少对周围人员的影响。核医学科设专门人员负责在摄像头下“点对点”接收放射性货包，核对核素名称、活度、数量等信息，登记放射性药品台账。

### (8) 其他措施

在PET/CT机房、SPECT/CT机房防护门上方设置工作状态指示灯，安装门灯联锁装置，控制室防护门关闭时指示灯应自动亮起；本项目拟配备辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核（考核类别为“核医学”），为所有工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。

甲亢治疗用药量不超过370MBq（10mCi），患者服药后无不良反应即离开核医学科；甲癌甲亢患者不能同时服药，且同一时间仅允许1人服药；服药前进行“三查五对”，严格按照医嘱给药，并告知患者注意事项。甲癌服药患者应视为移动放射源，医护人员与患者之间的距离应尽可能远，并尽量缩短接触时间；要求住院患者多饮水、多排便，安静在病房休息，减少走动；通常情况下，在患者住院24h内，医生和护士通过病房对讲和视频监控系统查房；以相互辐射影响最小的原则合理安排患者住院，大剂量（清灶）患者与小剂量（清甲）患者尽量不住同一病房。

本项目核医学科拟配备的辐射防护设备和用品统计见表10-9。

**表10-9 本项目核医学科拟配备的辐射防护设备和用品**

区域	设备用品名称	数量	规格/型号 (防护厚度)	用途	使用位置
PET/CT显 像诊断 区域	通风橱	1个	正面50mmPb, 其余 面40mmPb	药物贮存、分装	分装注射室
	翻转式分装铅罐	1个	40mmPb	药物贮存、分装	分装注射室
	转运铅盒	1个	20mmPb	注射器转运	分装注射室

	注射窗	1个	40mmPb	注射	分装注射室
	注射器防护套	1个	10mmPb		分装注射室
	铅废物桶（6个）	1个	10mmPb（容积10L）	废物暂存	分装注射室
		1个	10mmPb（容积40L）		废物间
		1个	10mmPb（容积10L）		注射后候诊（含卫生间）
		1个	10mmPb（容积10L）		注射后VIP候诊（含卫生间）
		1个	10mmPb（容积10L）		PET/CT机房
		1个	10mmPb（容积10L）		留观/抢救室（含卫生间）
	铅隔断板	1个	1个8mmPb	患者防护	注射后候诊
	防污去污用品	足量	防护服、乳胶手套、口罩面罩、吸水纸、棉球、去污试剂	防污染、去污	分装注射室
SPECT/CT 显像诊断 区域	通风橱	1个	10mmPb	药物贮存、分装	分装注射室
	转运铅盒	1个	10mmPb	注射器转运	
	注射窗	1个	10mmPb	注射	
	注射器防护套	1个	10mmPb	注射	
	移动注射车	1个	10mmPb	注射	
	铅废物桶（10个）	1个	5mmPb（容积10L）	废物暂存	分装注射室
		1个	5mmPb（容积10L）		注射后候诊（含卫生间）
		1个	5mmPb（容积10L）		注射后VIP候诊1（含卫生间）
		1个	5mmPb（容积10L）		注射后VIP候诊2（含卫生间）
		1个	5mmPb（容积10L）		运动负荷室
		1个	5mmPb（容积10L）		肺通气
		1个	5mmPb（容积10L）		SPECT/CT机房
		1个	5mmPb（容积10L）		留观室
		2个	5mmPb（容积40L）		废物间
	铅隔断板	2个	3mmPb	患者防护	SPECT注射后候诊
		1个	3mmPb		SPECT留观/抢救室
	个人防护用品	3套	0.5mmPb	工作人员防护和患者防护	药物操作区1套、扫描机房2套
	防污去污用品	足量	防护服、乳胶手套、口罩面罩、吸水纸、	防污染、去污	分装注射室

			棉球、去污试剂		
核素治疗区域	药物铅罐	1个	50mmPb	药物贮存	分装室
	通风橱	1台	正面50mmPb, 其余面40mmPb	药物分装	分装室通风橱内
	铅废物桶 (11个)	1个	10mmPb (容积20L)	废物暂存	分装室
		1个	10mmPb (容积20L)		服碘窗口
		2个	10mmPb (容积20L)		病房1 (含卫生间)
		2个	10mmPb (容积20L)		病房2 (含卫生间)
		3个	10mmPb (容积40L)		污被间/废物间
防污去污用品	足量	防护服、乳胶手套、口罩面罩、吸水纸、棉球、酒精等试剂	防污染、去污	分装室	
监测仪器	表面污染监测仪	1台	待定	表面污染检测	PET显像诊断区域
		1台	待定	表面污染检测	SPECTT显像诊断区域
		1台	待定	表面污染检测	核素治疗区域
	离院剂量率检测仪	1台	待定	患者出院前检测	核素治疗区域患者走廊内
	便携式剂量率仪	2台	待定	场所辐射监测	核医学科

### (三) 敷贴治疗室防护措施

(1) 辐射防护与安全保卫措施：敷贴治疗设有专用的独立用室，敷贴治疗室防护门均设置门禁装置，防护门外均张贴电离辐射警示标识和中文警示说明，室内均安装监控装置。

敷贴治疗室内配备专用贮源箱用于贮存  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器，贮源箱设有双人双锁管理，采取固定措施，不能随意移动。贮源箱外表面应标有放射性物品名称、活度、电离辐射警示标志和负责人员的联系方式。距  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器贮源箱外表面 5cm 和 100cm 处周围剂量当量率不得超过  $10\mu\text{Sv/h}$  和  $1\mu\text{Sv/h}$ ，建议贮源箱防护厚度为 8mmPb，内层为 1cm 厚的有机玻璃。

(2) 污染控制措施：敷贴治疗室内地面、墙面应使用易清洗去污的装修材料；正常情况下，敷贴治疗环节不产生放射性废水和放射性废气，对周围环境和公众辐射影响可以忽略；

(3) 辐射监测：本项目敷贴治疗室区域使用  $\beta$  污染监测仪器定期开展  $\beta$  表面污染监

测；

(4) 其他措施：敷贴治疗期间不能将  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器带出治疗室外，不应将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用时应避免锐器损坏源窗面，治疗完成后应立即放回贮源箱内贮存；敷贴治疗期间，医务人员应采取个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩、使用远距离操作工具；敷贴治疗室配备橡胶板或橡皮泥用于保护患者病灶周围的正常皮肤。

## 10.2 放射性“三废”的防治措施

### 10.2.1 放射性固体废物防治措施

(1) 本项目核医学科放射性固废主要包括：① $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物分装、注射环节产生的废弃注射器、针头、空药瓶、吸水纸、去污废物等；② $^{99\text{m}}\text{Tc}$  肺通气施药产生的一次性吸气管、咬嘴、过滤器、石墨坩埚和去污废物等；③ $^{131}\text{I}$  核素治疗区域产生的服碘口杯、患者生活垃圾如一次性餐具、纸巾纸杯、药盒等以及去污废物；④退役  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  敷贴器放射源、废排风管道滤芯等放射性固废。

(2)  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  固废分开收集、暂存和解控：其中分装注射室和运动负荷室内铅桶主要用于废弃注射器、针头、吸水纸、去污废物的收集；肺通气室铅桶用于肺通气施药的一次性吸气管、咬嘴、过滤器、石墨坩埚、去污废物的收集；PET 候诊室、SPECT 候诊室、留观兼抢救室铅桶主要用于患者候诊、留观期间的废物收集；服碘窗口和分装室铅桶主要用于服碘口杯和去污废物的收集，病房和卫生间铅桶主要用于住院患者生活垃圾的收集；所有铅桶均内衬专用的塑料袋收纳废物，废针头应装入针帽内再丢进铅桶。

放射性固废的收集均安排在工作结束后或开始前、住院患者离院后核医学科无病人的时间段进行，工作人员将固废按核素种类分开收集、打包密封（单包废物重量不应超过 20kg），并标注所含核素种类和收集日期后，转移至各自区域废物间的铅桶内暂存；废物间内各设有 2 个大铅桶交替使用（第一桶存满后启用第二桶），各废物间内不得堆放与放射性固废暂存无关的任何其他物品。

(3) 固废暂存与解控：含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素的放射性固废在废物间铅桶内暂存不少于 30 天，含  $^{131}\text{I}$  核素的放射性固废在废物间铅箱内暂存至少 180 天后，使用检测仪器进行

检测，废物袋表面辐射剂量率处于环境本底水平且 $\beta$ 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时，可进行清洁解控，按普通医疗废物处理；放射性固废的清洁解控均安排在每日工作结束后进行。医院应建立放射性固废暂存和解控管理台账，详细记录解控废物所含的核素名称、重量、废物产生起始日期、处置人员、处置日期和监测结果等信息。

(4) 其他放射性固废：核医学科排风系统的所有活性炭滤芯、碘过滤器和高效过滤器计划每年更换1次，暂存在各自区域废物间内。上述滤材应当按照放射性固废的要求进行暂存和清洁解控。此外，退役 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器由供源厂家负责回收或送交有放射性废物贮存资质单位贮存。

### 10.2.2 放射性废水防治措施

本项目放射性废水主要来自药物操作区的洗手池废水、洗污废水、患者卫生间冲厕废水，显像诊断场所废水和核素治疗场所废水分开收集和暂存。显像诊断区域废水经独立排水管道排入1#衰变池，核素治疗区域废水经独立排水管道排入2#衰变池。

#### (1) 衰变池容量

本项目核医学科废水衰变系统包含2套独立的衰变池，短半衰期衰变池用于收集显像诊断区域放射性废水（含短半衰期核素 $^{18}\text{F}$ 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ），长半衰期衰变池用于收集核素治疗区域放射性废水（含 $^{131}\text{I}$ 核素）。短半衰期衰变池为三槽并联衰变池，单槽有效容积均为 $10\text{m}^3$ ，总容积为 $30\text{m}^3$ ，前端设有1个沉淀池；长半衰期衰变池为三槽并联衰变池，单槽有效容积均为 $30\text{m}^3$ ，总容积为 $90\text{m}^3$ ，前端设有1个沉淀池。

#### (2) 衰变池结构与设计

本项目拟在地下二层建设1间衰变池用房，该房间四周墙体均采用 $37\text{cm}$ 实心砖砌筑，房间内设置2套成品衰变池及放射性废液衰变系统，放射性废液监测排放系统设置于地下一层核医学科工作场所控制室内，衰变池池体内部涂防水涂层，顶端留有维修孔，排水管裸露部分均拟采用铅皮进行包裹。

#### (3) 废液暂存与排放控制

①废水衰变系统由程控式PLC控制系统自动控制（2套独立控制系统），可在无人值守状态下实现长时间稳定运行。各衰变槽设有电动进排水球阀和电动液位计，控制系统设有状态提醒及异常报警功能。

②废水衰变系统整体采用“储存式衰变”方式，各衰变槽独立工作、循环使用。为防止液位控制装置失灵导致的废水超位溢流，各衰变槽之间设溢流孔（ $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的废水槽和 $^{131}\text{I}$ 废水槽之间完全隔离无溢流孔），溢流孔设置在衰变槽“液位上限”上方15cm处。若衰变池液位控制系统故障导致电动阀不能自动切换，则超位废液可以自行溢流到下一个衰变槽内（后续轮流使用的衰变槽），避免废液溢出槽外。

③以 $^{131}\text{I}$ 衰变系统控制流程为例：衰变系统运行时，先开启1槽进水管电动阀，关闭2槽、3槽和应急槽进水管电动阀——待1槽水位达到程控液位后，关闭1槽进水管电动阀，开启2槽进水管电动阀，废水进入2槽——待2槽水位达到程控液位后，关闭2槽进水管电动阀，开启3槽进水管电动阀，废水进入3槽——待3槽达到程控液位之前，1槽废水已暂存超过180天，委托有资质单位对废水进行检测，监测结果经生态环境主管部门认可批准后，打开1槽排水阀门和潜水泵进行解控排放，排完后关闭1槽潜水泵和排水阀——待3槽水位达到程控液位后，关闭3槽进水管电动阀，开启1槽进水管电动阀，废水进入1槽（此时1槽已是排空状态）——待1槽达到程控液位之前，2槽废水已暂存超过180天……依照上述流程循环往复运行；

#### （4）废水解控要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：显像诊断区域放射性废水（含短半衰期核素 $^{18}\text{F}$ 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）暂存时间应超过30天，1#衰变池设有检测槽进行取样监测，废水暂存时间超过30天且监测达标后（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）可直接解控排放；核素治疗区域放射性废水（含 $^{131}\text{I}$ 核素）暂存时间应超过180天，2#衰变池设有检测槽，衰变槽内废水暂存超过180天后，通过检测槽进行取样监测，监测达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、 $^{131}\text{I} \leq 10\text{Bq/L}$ ）并且监测结果经生态环境主管部门认可并同意后，进行解控排放；解控废水均排入医院污水处理站进行集中处理，最后排入市政管网。医院应安排专人负责放射性废液的暂存、解控工作，建立放射性废水暂存和解控管理台账，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；

#### （5）其他管理措施

①病房排水管道位置应有适当标记，方便进行检测和维修；病房排水管道应采用

包铅进行防护。

②衰变池在衰变间外应设置电离辐射警示标志和警示语。

③病房患者卫生间采用节水马桶设计，淋浴装置拟采取合理的水量控制措施，规定患者每日洗澡次数不应超过 1 次。在甲癌患者住院宣教时，提醒患者节约用水，尽量减少生活废水的产生。

本项目放射性废水收集排放系统设计图见图 10-2，衰变池平面布局见图 10-3。

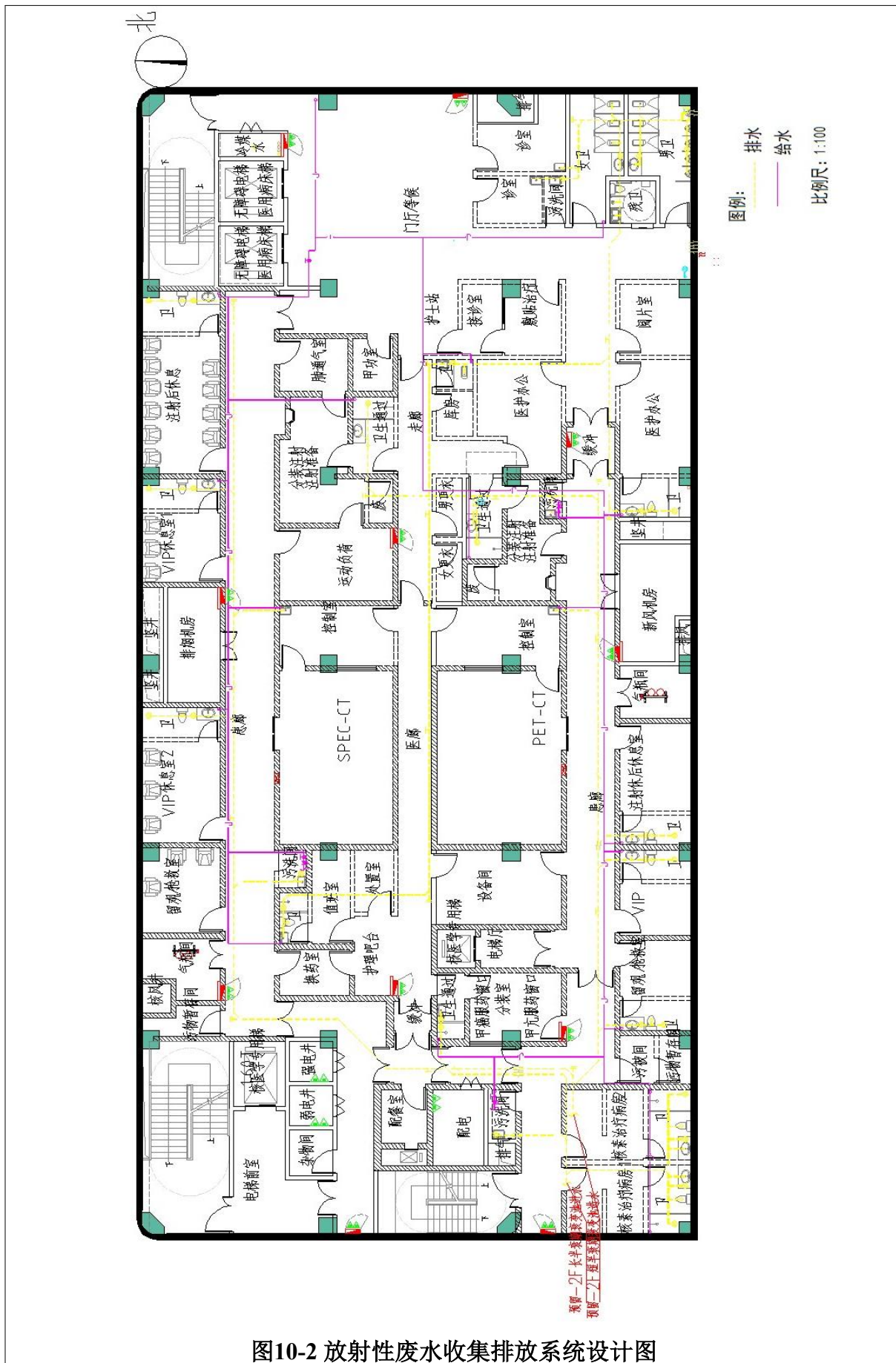


图10-2 放射性废水收集排放系统设计图

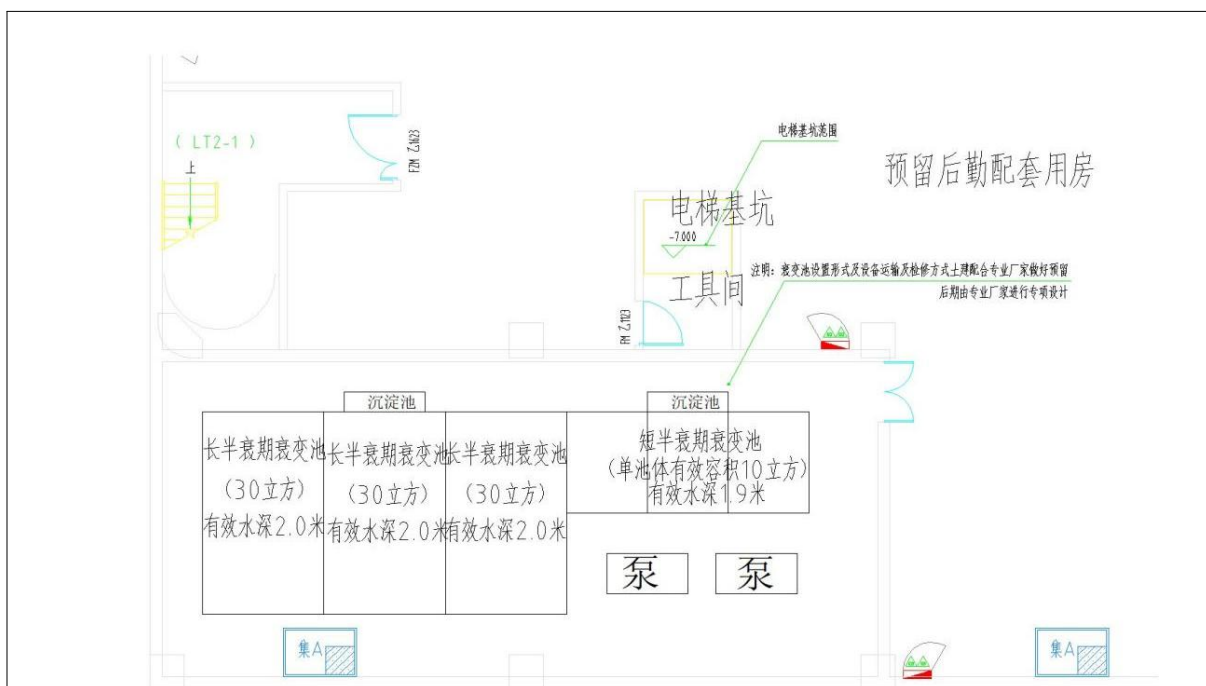


图10-3 本项目核医学科衰变池平面布局和管路图

### (3) 放射性废气防治措施

本项目核医学科在核素治疗场所和核素诊断场所分别设置了独立的负压排风系统，工作场所气流组织按照监督区向控制区的流向设置，所有排风口均设有止回阀，防止气体倒流。核医学科排风系统包括：

①PET/CT核医学科显像诊断区域设置 2 套独立排风系统：其中 1 套独立排风系统在分装注射室、废物间、各候诊室、留观/抢救室均设置排风口，另 1 套在PET/CT扫描机房内设置排风口，场所废气通过核风井排风管道直通教学科研楼楼顶，并朝向天空排放，排风口处设有活性炭过滤装置。

②SPECT/CT核医学科显像诊断区域设置独立排风系统：在分装注射室、废物间、各候诊室和扫描机房、留观/抢救室内均设置排风口，场所废气通过核风井排风管道直通教学科研楼楼顶，并朝向天空排放，排风口处设有活性炭过滤装置。

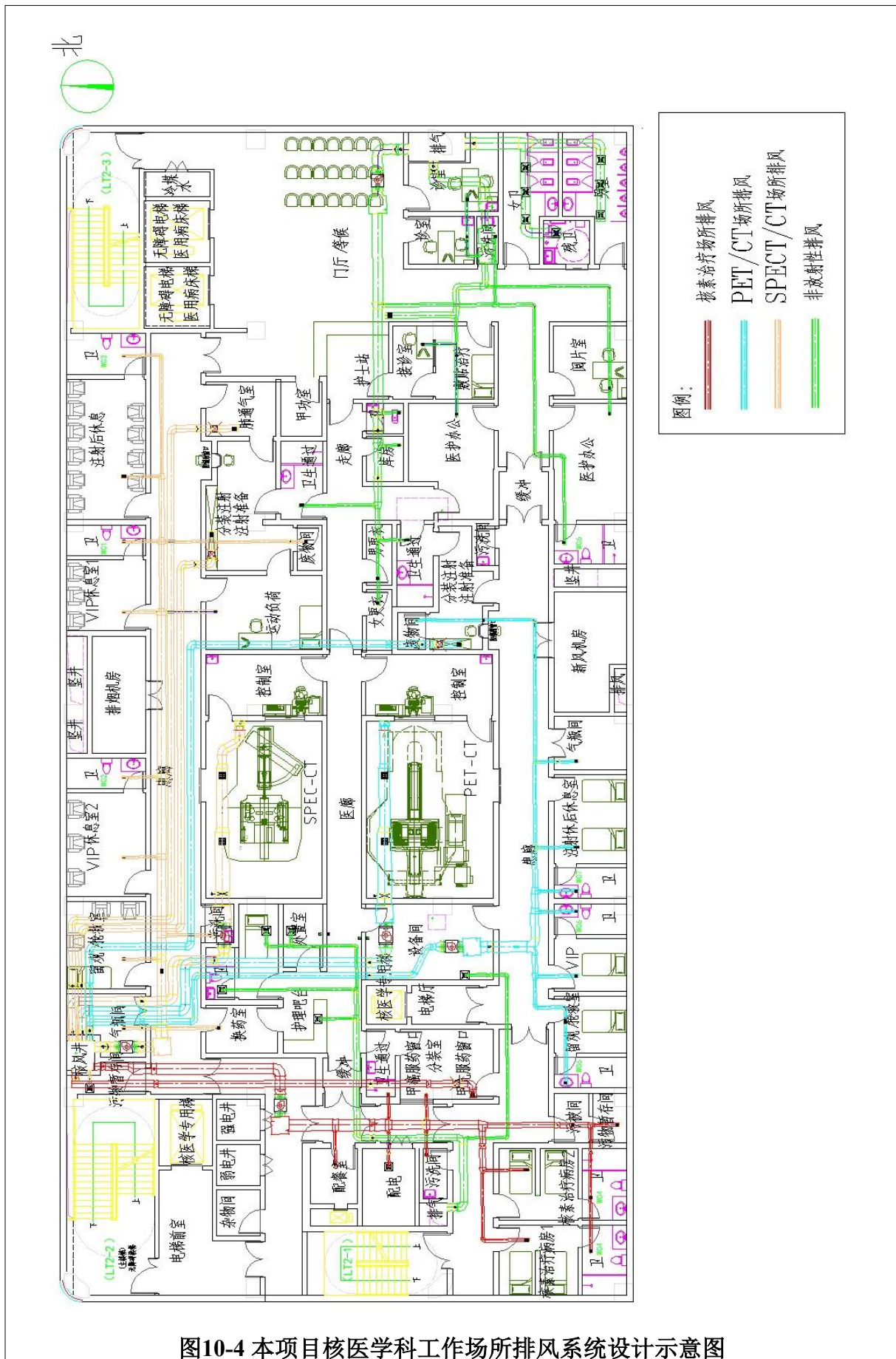
③ $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱、肺通气室、 $^{131}\text{I}$ 通风橱分别设置独立排风系统，通风橱和集气罩出风口处均设有高效过滤器，废气汇集到核风井独立排风管道后直通教学科研楼楼顶，朝向天空排放，排风口高度为 35m，排风口处设有活性炭过滤装置；

④核素治疗区域设置 1 套独立负压排风系统，在分装室、污物暂存间、污被间、

病房 1、病房 2、污洗间、配餐间等场所均设置排风口，场所废气经汇聚到核风井独立排风管道后直通教学科研楼楼顶，朝向天空排放，楼顶排风口处设有高效碘过滤装置（过滤效率大于 99%）。

⑤此外，敷贴治疗室等区域也设有排风口

本项目核医学科工作场所排风系统设计示意图见图 10-4。



## 表11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，不会对周围环境产生辐射影响。

本项目建设阶段涉及土建施工、建筑装饰、设备安装等，在项目建设期间，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘。工程建设阶段各项污染的防治已在教学科研楼工程建设项目环评中进行了详细评价，本项目仅做简要说明。

#### 11.1.1 施工期噪声污染防治措施

加强管理，文明施工，尽量减少人为噪声；优先选用低噪声施工机械，严格控制施工时间；合理优化施工工艺，采用静压打桩方式；施工现场设置禁止鸣笛、慢行标志牌及车辆指引牌；同一施工地点应避免安排大量动力机械设备；固定施工机械设备可安装排气管消声器和隔离发动机振动部件；通过采取上述综合降噪措施后，可有效降低施工噪声对医院环境产生的不利影响，减轻对周围环境的影响

#### 11.1.2 施工期大气污染防治措施

大气污染物主要来源于施工扬尘与装修产生的有机废气。施工现场安装遮挡设施，实行封闭式施工；对有可能产生二次扬尘的作业面应洒水降尘，使其保持一定湿度；易产生扬尘的路段车辆应慢速行驶，车辆出入口路面保持清洁、湿润；定期洒水抑尘，遮盖易产生扬尘的施工材料；装修期间采用环保型油漆、涂料、胶粘剂及装饰材料，做好室内通风换气。

#### 11.1.3 施工期废水防治措施

施工期废水主要是施工人员产生的生活污水和施工废水。生活污水应经化粪池收集后一同经地下污水处理设施处理后达标排放；施工废水主要为施工机械冲洗废水，施工废水严格依托漳浦县医院污水处理设施妥善处理。

#### 11.1.4 施工期固体废物防治措施

施工期间固体废物主要为建筑垃圾和生活垃圾，建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。遗留在现场的建筑废弃物、土方应及时清运或回填；运送建筑垃圾的车辆应加盖篷布；建筑金属废物在施工现场应及时回收；建筑金属废物在

施工现场应及时回收；尽量减少降低固体废物对周围环境产生的不利影响。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，将本项目施工阶段对周围环境的影响降到最低。

## 11.2 运行阶段环境影响分析

### 11.2.1 使用规划

本项目核医学科拟使用放射性核素<sup>68</sup>Ga、<sup>18</sup>F和<sup>99m</sup>Tc开展核医学显像诊断工作，拟使用放射性核素<sup>131</sup>I开展甲癌治疗、甲亢治疗工作，拟使用<sup>89</sup>Sr和<sup>153</sup>Sm用于骨转移癌治疗，拟使用<sup>90</sup>Sr用于敷贴治疗，本项目药物及密封放射源全部外购；本项目核医学科放射性核素种类用途和使用量统计详见表11-1。

表11-1 本项目核医学科放射性核素使用情况表

核素种类	用途	日最大诊疗量 (人次)	单名患者最大用量 (Bq)	年计划运行时长	年最大诊疗量 (人次)
<sup>18</sup> F	PET显像	20	5.55E+8Bq (15mCi)	250天	5000
<sup>68</sup> Ga	PET显像	10	3.70E+8Bq (10mCi)	250天	2500
<sup>99m</sup> Tc	SPECT显像	30	9.25E+8Bq (25mCi)	250天	7500
<sup>131</sup> I	甲癌治疗	4	7.40E+9Bq (200mCi)	50周	200
	甲亢治疗	10	3.70E+8Bq (10mCi)	250天	2500
<sup>89</sup> Sr	骨转移癌治疗	2	2.96E+8Bq (8mCi)	250天	500
<sup>153</sup> Sm	骨转移癌治疗	1	1.85E+9Bq (50mCi)	250天	250

### 11.2.2 估算公式和参数选取

在进行工作场所周围剂量率估算时，将患者、药物注射器等源项近似视为点源，依照辐射剂量率和距离成平方反比衰减的规律，同时考虑墙壁、防护门和防护窗的屏蔽作用。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录I，所有核素（如<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I、<sup>18</sup>F等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法，参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录I，

本项目核医学科工作场所周围剂量率可由下式计算得到：

$$H_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-\frac{X}{TVL}}$$

式中： $H_p$ —屏蔽体外关注点的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —单个患者或受检者所用放射源的最大活度， $\text{MBq}$ ；

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

$r$ —关注点距放射源间的距离；

$X$ —屏蔽体的厚度， $\text{mm}$ ；

$\text{TVL}$ — $\gamma$ 射线的十分之一层厚度， $\text{mm}$ 。

本项目核医学科涉及的放射性核素相关计算参数见表11-2。

表11-2 核医学科涉及的放射性核素相关计算参数

核素	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	什值层厚度 (mm)	
		混凝土	铅
$^{18}\text{F}$	注射前：0.143 患者体内：0.092	176	16.6
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射前：0.0303 患者体内：0.0207	110	1.0
$^{131}\text{I}$	注射前：0.0595 患者体内：0.0583	170	11

注： $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 相关数据取自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录H、附录I、附录L。

### 11.2.3 辐射影响分析

#### 11.2.3.1 估算参数及源项分析

(1) 由于 PET/CT 显像诊断场所以  $^{18}\text{F}$  药物为主，故按  $^{18}\text{F}$  药物进行屏蔽估算， $^{18}\text{F}$  药物用量按最大用量  $555\text{MBq}/\text{人次}$  ( $15\text{mCi}/\text{人次}$ ) 进行计算。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中表 H.1，核素  $^{18}\text{F}$  的周围剂量当量率常数（裸源）为  $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。将活度为  $555\text{MBq}$  的  $^{18}\text{F}$  药液看作裸源，根据 GBZ 120-2020 表 L.1， $^{18}\text{F}$  药物进入患者体内后，其周围剂量当量率常数取  $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ；受检者平均候诊 60min 后进入 PET/CT 机房开展显像扫描，根据 AAPM Task Group 108 报告，注射  $^{18}\text{F}$  核素经过 60min 后的活度衰减因子为 0.68，则受检者平均候诊 60min 后进入 PET/CT 机房开展显像扫描。

(2) SPECT/CT 显像诊断的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物注射量按最大  $925\text{MBq}/\text{人次}$  ( $25\text{mCi}/\text{人次}$ ) 进行计算，肺通气检查用药量按  $740\text{MBq}/\text{人次}$  计算。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中表 H.1，核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  的周围剂量当量率常数（裸源）为

0.0303 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。将活度为 925MBq 的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药液看作裸源；根据 GBZ 120-2020 表 L.1， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物进入患者体内后，其周围剂量当量率常数取 0.0207 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。

(3) 本项目 PET 候诊室最多可容纳 2 名受检者同时候诊，SPECT 候诊室最多可容纳 3 名受检者同时候诊，VIP 候诊室仅 1 名受检者候诊。SPECT 留观室通常只有 1 名受检者停留，保守考虑同时有 2 名受检者留观，PET 留观室只有 1 名受检者停留。

(4) 外购的  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  药物需要在分装注射室的 PET/CT 检查区域通风橱内进行分装。核医学科  $^{18}\text{F}$  药物每日最大使用量为 300mCi， $^{68}\text{Ga}$  药物每日最大使用量为 100mCi。 $^{18}\text{F}$  药物密闭存放于 40mmPb 分装铅罐中，并放置在 50mmPb 的通风橱内，药物贮存状态下的辐射影响很小。

(5)  $^{18}\text{F}$  注射窗的防护厚度为 40mmPb，将活度为 555MBq (15mCi) 的  $^{18}\text{F}$  药液看作裸源； $^{99\text{m}}\text{Tc}$  注射车的防护厚度为 5mmPb，将活度为 925MBq 的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药液看作裸源。

(6) 甲癌患者服药量保守按 7400MBq/人 (200mCi/人) 进行估算。根据 GBZ 120-2020 表 H.1， $^{131}\text{I}$  核素的周围剂量当量率常数 (裸源) 为 0.0595 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ，将活度为 7400MBq (200mCi) 的  $^{131}\text{I}$  药液看作裸源；根据 GBZ 120-2020 表 L.1， $^{131}\text{I}$  核素在患者体内时，患者周围剂量当量率常数取 0.0583 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 。

(7) 甲亢患者服药量为 370MBq/人 (10mCi/人)，将活度为 370MBq (10mCi) 的  $^{131}\text{I}$  药液看作裸源。

(8) 本项目核素治疗使用的  $^{131}\text{I}$  药物均为外购药物，供药单位根据订购活度将药物装入药瓶中，然后贮存在铅罐中，运抵核素治疗区通风橱。本项目核医学科每周最多实施 4 人次甲癌治疗，每天最多进行 10 次甲亢治疗，每天使用  $^{131}\text{I}$  药物的总活度不超过 900mCi，将活度 900mCi 的  $^{131}\text{I}$  药液视为裸源。

(9)  $^{131}\text{I}$  药物使用自动分装仪 (40mmPb) 分装，工作人员将源罐放入自动分装仪内，然后在控制室内隔室操作分装仪，并通过视频及语音系统指导患者服药。

(10)  $^{131}\text{I}$  服药均在服碘窗口进行，甲癌患者和甲亢患者不同时服药，且服碘窗口同一时间仅允许 1 人服药。因此，甲癌患者服药期间服碘窗口周围主要受到 200mCi 的

<sup>131</sup>I 药液影响；甲亢患者服药期间服碘窗口周围主要受到 10mCi 的 <sup>131</sup>I 药液影响。

(11) <sup>131</sup>I 每周服药 900mCi 计算，污被间内配备 2 个 20mmPb 铅废物箱轮流使用，正常情况下，每周产生的放射性固废活度至多不超过周最大用药量的 5%，则污被间内 <sup>131</sup>I 废物活度至多 45mCi。

### 11.2.3.2 关注点的选取

参考AAPM 108 号报告给出关注点选取原则，本项目工作场所周围关注点取各房间屏蔽墙、防护门窗外 30cm 处，楼上关注点位置取地面上方 30cm 处，楼下关注点位置取距离下方地面 170cm 处。工作场所各房间内部净高均为 5.0m，将药物和受检者均视为点源，点源距场所地面的平均高度取 1.0m。

### 11.2.3.3 剂量率估算结果

基于上述源项和估算方法，保守估算各房间周围以及楼上、楼下各关注点处的附加剂量率，本项目显像诊断区域及周围附加剂量率估算结果见表11-3。

表11-3 显像诊断区域及周围各关注点附加剂量率估算结果

区域	房间名称	屏蔽体	毗邻场所	关注点	源项	屏蔽材料及厚度	折铅当量 (mmPb)	距离 (m)	附加剂量率 (μSv/h)
SPECT/CT工作场所	分装注射室	东墙	肺通气室	A1	<sup>99m</sup> Tc药物 (925MBq)	240mm水泥砖	2.18	1.4	9.41E-01
		南墙	卫生通过间	A2		240mm水泥砖	2.18	2.7	2.53E-01
		西墙	运动负荷室	A3		240mm水泥砖	2.18	5.5	6.10E-02
		北墙	患者走廊	A4		240mm水泥砖	2.18	1.2	1.28
		东侧防护门	肺通气室	A5		3mm铅板	3.00	1.4	1.43E-01
		南侧防护门	卫生通过间	A6		3mm铅板	3.00	2.8	3.57E-02
		西侧防护门	运动负荷室	A7		3mm铅板	3.00	5.6	8.94E-03
		注射窗	患者走廊	A8		5mmPb铅玻璃	5.00	1.0	2.80E-03
		顶棚	PET/MR机房、走廊	A9		300mm混凝土	2.27	4.7	6.77E-02
		地板	预留后勤配套用房	A10		250mm混凝土	2.27	3.3	1.37E-01
	运动负荷室	东墙	分装注射室	B1	1名 <sup>99m</sup> Tc的患者 (925MBq)	240mm水泥砖	2.18	2.1	4.18E-01
		南墙	医护走廊	B2		240mm水泥砖	2.18	3.1	1.92E-01
		西墙	SPECT/CT控制室	B3		240mm水泥砖	2.18	2.1	4.18E-01
		北墙	患者走廊	B4		240mm水泥砖	2.18	3.1	1.92E-01
		东侧防护门	分装注射室	B5		3mm铅板	3.00	2.1	6.36E-02
		北侧防护门	患者走廊	B6		3mm铅板	3.00	3.1	2.92E-02
		顶棚	设备间、PET/MR机房、走廊	B7		300mm混凝土	2.27	4.7	6.77E-02

		地板	预留后勤配 套用房	B8		250mm混凝土	2.27	3.3	1.37E-01
肺通气 室		东墙	走廊	C1	1名 <sup>99m</sup> Tc患者 (925MBq)	240mm水泥砖	2.18	1.9	5.11E-01
		南墙	医护走廊、 护士站	C2		240mm水泥砖	2.18	3.1	1.92E-01
		西墙	卫生通过间	C3		240mm水泥砖	2.18	2.1	4.18E-01
		北墙	患者走廊	C4		240mm水泥砖	2.18	3.1	1.92E-01
		北侧防护门	患者走廊	C5		3mm铅板	3.00	3.1	2.92E-02
		西侧防护门	分装注射室	C6		3mm铅板	3.00	1.9	7.76E-02
		顶棚	更衣室、走 廊	C7		300mm混凝土	2.27	4.7	6.77E-02
		地板	预留后勤配 套用房	C8		250mm混凝土	2.27	3.3	1.37E-01
注射后 休息兼 抢救室 (含卫生 间)		东墙	楼梯间	D1	3名 <sup>99m</sup> Tc患者 (3*925MBq )	240mm水泥砖	2.18	5.7	1.16E-02
		南墙	患者走廊	D2		240mm水泥砖	2.18	2.9	4.49E-02
		西墙	VIP候诊室1 (含卫生 间)	D3		240mm水泥砖	2.18	3.7	2.76E-02
		北墙	土层	—		—	—	—	—
		防护门	患者走廊	D4		3mm铅板	3.00	3.5	4.69E-03
		顶棚	控制走廊	D5		300mm混凝土	2.27	4.7	1.39E-02
		地板	预留后勤配 套用房	D6		250mm混凝土	2.27	3.3	2.81E-02
VIP候 诊室 1(含卫 生间)		东墙	注射后休息 兼抢救室 (含卫生 间)	E1	1名 <sup>99m</sup> Tc患者 (925MBq)	240mm水泥砖	2.18	4.3	6.81E-03
		南墙	患者走廊	E2		240mm水泥砖	2.18	2.8	1.61E-02
		西墙	排烟机房	E3		240mm水泥砖	2.18	1.5	5.60E-02
		北墙	土层	—		—	—	—	—
		防护门	患者走廊	E4		3mm铅板	3.00	2.8	2.44E-03
		顶棚	控制走廊	E5		300mm混凝土	2.27	4.7	4.63E-03
VIP候 诊室 2(含卫 生间)		地板	报警阀间	E6	250mm混凝土	2.27	3.3	9.38E-03	
		东墙	排烟机房	F1	1名 <sup>99m</sup> Tc的患 者 (925MBq)	240mm水泥砖	2.18	4.4	6.51E-03
		南墙	患者走廊	F2		240mm水泥砖	2.18	2.9	1.50E-02
		西墙	留观室	F3		240mm水泥砖	2.18	2.9	1.50E-02
		北墙	土层	—		—	—	—	—
		防护门	患者走廊	F4		3mm铅板	3.00	3.1	1.99E-03
	顶棚	控制走廊	F5	300mm混凝土		2.27	4.7	4.63E-03	
SPECT/ CT机房		地板	预留后勤配 套用房	F6	250mm混凝土	2.27	3.3	9.38E-03	
		东墙	控制室	G1	1名 <sup>99m</sup> Tc患者 (925MBq)	240mm水泥砖	2.18	4.5	6.22E-03
		南墙	医护走廊	G2		240mm水泥砖	2.18	3.1	1.31E-02
		西墙	设备间	G3		240mm水泥砖	2.18	4.5	6.22E-03
		北墙	患者走廊	G4		240mm水泥砖	2.18	3.1	1.31E-02
		东侧防护门	控制室	G5		3mm铅板	3.00	4.8	8.31E-04
	北侧防护门	患者走廊	G6	3mm铅板		3.00	3.5	1.56E-03	

PET/C T工作 场所		观察窗	控制室	G7		3mmPb铅玻璃	3.00	4.5	9.46E-04
		顶棚	CT机房、DR 机房、走廊	G8		300mm混凝土	2.27	4.7	4.63E-03
		地板	预留后勤配 套用房	G9		250mm混凝土	2.27	3.3	9.38E-03
	留观室	东墙	VIP候诊室2 (含卫生 间)	H1	2名 <sup>99m</sup> Tc患者 (2*925MBq )	240mm水泥砖	2.18	2.8	3.21E-02
		南墙	患者走廊	H2		240mm水泥砖	2.18	3.0	2.80E-02
		西墙	气瓶间	H3		240mm水泥砖	2.18	2.2	5.21E-02
		北墙	土层	—		—	—	—	—
		防护门	患者走廊	H4		3mm铅板	3.00	2.9	4.55E-03
		顶棚	卫生间、走 廊、CT机房	H5		300mm混凝土	2.27	4.7	9.25E-03
		地板	预留后勤配 套用房	H6		250mm混凝土	2.27	3.3	1.88E-02
	污物暂 存间	东墙	气瓶间	I1	<sup>99m</sup> Tc废物置于 铅废物桶(保 守按925MBq 考虑)	240mm水泥砖	2.18	1.2	1.28
		南墙	患者走廊	I2		240mm水泥砖	2.18	2.0	4.61E-01
		西墙	楼梯间	I3		240mm水泥砖	2.18	1.2	1.28
		北墙	土层	—		—	—	—	—
		防护门	患者走廊	I4		3mm铅板	3.00	2.0	7.01E-02
		顶棚	卫生间	I5		300mm混凝土	2.27	4.7	6.77E-02
		地板	预留后勤配 套用房	I6		250mm混凝土	2.27	3.3	1.37E-01
	患者走 廊	东墙	电梯间	J1	1名 <sup>99m</sup> Tc患者 (925MBq)	240mm水泥砖	2.18	3.3	1.16E-02
		南墙	控制室	J2		240mm水泥砖	2.18	1.6	4.92E-02
			设备间	J3		240mm水泥砖	2.18	1.6	4.92E-02
		西墙	电梯间	J4		240mm水泥砖	2.18	1.4	6.43E-02
		防护门	走廊入口	J5		3mm铅板	3.00	1.9	5.30E-03
			走廊出口	J6		3mm铅板	3.00	1.6	7.48E-03
	分装注 射室	东墙	医护办公室	K1	555MBq的 <sup>18</sup> F 药物 (10mmPb注 射区防护套)	300mm 水泥砖	32.64	1.4	4.38E-01
		南墙	患者走廊	K2		240mm 水泥砖	32.64	1.1	7.09E-01
		西墙	控制室	K3		240mm 水泥砖	32.64	5.3	3.06E-02
		北墙	更衣、卫生 通过间	K4		240mm 水泥砖	32.64	2.0	2.15E-01
南侧防护门		患者走廊	K5	15mm铅板		15.00	2.7	3.40E-01	
北侧防护门		卫生通过间	K6	15mm铅板		15.00	1.8	7.64E-01	
注射窗		患者走廊	K7	40mmPb铅玻璃		40.00	1.0	3.09E-01	
顶棚		候诊大厅、 室外空地	K8	300mm混凝土		33.58	4.7	3.41E-02	
地板		预留后勤配 套用房	K9	250mm混凝土		33.58	3.3	6.91E-02	
注射后 候诊室 (含卫生 间)		东墙	气瓶间	L1		2名 <sup>18</sup> F患者 (2*555MBq )	240mm水泥砖	22.64	2.3
	南墙	土层	—	—	—		—		
	西墙	VIP候诊室 (含卫生 间)	L2	240mm水泥砖	22.64		2.6	6.54E-01	

		北墙	患者走廊	L3		240mm水泥砖	22.64	2.6	6.54E-01
		防护门	患者走廊	L4		10mm铅板	10.00	2.6	3.77
		顶棚	室外空地	L5		300mm混凝土	23.58	4.7	1.76E-01
		地板	预留后勤配套用房	L6		250mm混凝土	23.58	3.3	3.56E-01
	VIP候诊室(含卫生间)	东墙	注射后候诊室(含卫生间)	M1	1名 <sup>18</sup> F患者(555MBq)	240mm水泥砖	22.64	3.3	2.03E-01
		南墙	土层	—		—	—	—	—
		西墙	留观/抢救室	M2		240mm水泥砖	22.64	1.7	7.65E-01
		北墙	患者走廊	M3		240mm水泥砖	22.64	2.6	3.27E-01
		防护门	患者走廊	M4		10mm铅板	10.00	2.6	1.89
		顶棚	室外空地	M5		300mm混凝土	23.58	4.7	8.78E-02
		地板	衰变池	M6		250mm混凝土	23.58	3.3	1.78E-01
	PET/CT机房	东墙	控制室	N1	1名 <sup>18</sup> F患者(555MBq)	240mm水泥砖	22.64	5.7	6.80E-02
		南墙	患者走廊	N2		240mm水泥砖	22.64	4.1	1.31E-01
		西墙	设备间	N3		240mm水泥砖	22.64	3.6	1.71E-01
		北墙	医护走廊	N4		300mm水泥砖	22.64	2.7	1.38E-01
		东侧防护门	控制室	N5		10mm铅板	10.00	6.1	3.43E-01
		南侧防护门	患者走廊	N6		6mm铅板	6.00	4.9	9.25E-01
		观察窗	控制室	N7		10mmPb铅玻璃	10.00	5.5	4.22E-01
		顶棚	候诊大厅、室外空地	N8		300mm混凝土	23.58	4.7	4.56E-02
		地板	预留后勤配套用房	N9		250mm混凝土	23.58	3.3	1.78E-01
	留观/抢救室(含卫生间)	东墙	VIP候诊室(含卫生间)	O1	1名 <sup>18</sup> F患者(555MBq)	240mm水泥砖	22.64	2.3	4.18E-01
		南墙	土层	—		—	—	—	—
		西墙	污被间	O2		240mm水泥砖	22.64	3.4	1.91E-01
		北墙	患者走廊	O3		240mm水泥砖	22.64	2.7	3.03E-01
		防护门	患者走廊	O4		10mm铅板	10.00	2.8	1.63
		顶棚	室外空地	O5		300mm混凝土	23.58	4.7	4.56E-02
		地板	衰变池	O6		250mm混凝土	23.58	3.3	1.78E-01
	患者走廊	东墙	走廊(入口)	P1	1名 <sup>18</sup> F患者(555MBq)	240mm水泥砖	22.64	3.7	1.61E-01
		南墙	医护卫生间	P2		240mm水泥砖	22.64	1.7	7.65E-01
		西墙	治疗区患者走廊	P3		240mm水泥砖	22.64	1.5	9.82E-01
		北墙	控制室	P4		240mm水泥砖	22.64	1.6	8.63E-01
		北墙	设备间	P5		240mm水泥砖	22.64	1.6	8.63E-01
		防护门	走廊(入口)	P6		10mm铅板	10.00	3.7	9.32E-01
电梯厅(出口)			P7	15mm铅板		15.00	1.6	2.49	
治疗区患者走廊			P8	15mm铅板		15.00	1.3	3.77	
设备间			P9	15mm铅板		15.00	1.6	2.49	

<sup>131</sup> I核素治疗工作场所	分装室	东墙	电梯厅	Q1	7400MBq的 <sup>131</sup> I药物置于分装柜	240mm水泥砖+40mmPb分装柜	55.53	3.2	3.85E-04
		南墙	患者走廊	Q2		240mm水泥砖+40mmPb分装柜	55.53	1.7	1.36E-03
		西墙	患者走廊	Q3		240mm水泥砖+40mmPb分装柜	55.53	1.6	1.54E-03
		北墙	卫生通过间	Q4		240mm水泥砖+40mmPb分装柜	55.53	3.2	3.85E-04
		南侧防护门	患者走廊	Q5		10mm铅板+40mmPb分装柜	50.00	1.7	7.62E-01
		北侧防护门	卫生通过间	Q6		10mm铅板+40mmPb分装柜	50.00	3.3	1.15E-03
		服药窗口	患者走廊	Q7		40mmPb分装柜+15mmPb注射窗	55.00	1.0	1.02E-01
		顶棚	调解室、室外空地	Q8		300mm混凝土+40mmPb分装柜	56.18	4.7	7.92E-05
		地板	预留后勤配套用房	Q9		250mm混凝土+40mmPb分装柜	56.18	3.3	3.16E-04
	病房1(含卫生间)	东墙	病房2	R1	2名 <sup>131</sup> I患者(2*7400MBq)	240mm水泥砖	15.53	2.6	2.47
		南墙	土层	—		—	—	—	—
		西墙	土层	—		—	—	—	—
		北墙	患者走廊	R2		240mm水泥砖	15.53	2.3	3.16
		防护门	患者走廊	R3		15mm铅板	15.00	2.4	3.24
		顶棚	室外空地	R4		300mm混凝土	19.41	4.7	3.36E-01
		地板	衰变池	R5		250mm混凝土	19.41	3.3	6.81E-01
	病房2(含卫生间)	东墙	污被间、患者走廊	S1	2名 <sup>131</sup> I患者(2*7400MBq)	240mm水泥砖	15.53	1.6	6.53
		南墙	土层	—		—	—	—	—
		西墙	病房1	S2		240mm水泥砖	15.53	2.6	2.47
		北墙	患者走廊	S3		240mm水泥砖	15.53	2.3	3.16
		防护门	患者走廊	S4		15mm铅板	15.00	2.4	3.24
		顶棚	室外空地	S5		300mm混凝土	19.41	4.7	3.36E-01
		地板	衰变池	S6		250mm混凝土	19.41	3.3	1.34
	污被间	东墙	留观/抢救室(含卫生间)	T1	含370MBq的污被	240mm水泥砖	15.53	1.3	4.95E-01
		南墙	土层	—		—	—	—	—
		西墙	病房2	T2		240mm水泥砖	15.53	1.3	4.95E-01
		北墙	患者走廊	T3		240mm水泥砖	15.53	2.3	1.58E-01
		防护门	患者走廊	T4		15mm铅板	15.00	2.3	1.77E-01
		顶棚	室外空地	T5		300mm混凝土	19.41	4.7	1.68E-02
		地板	衰变池	T6		250mm混凝土	19.41	3.3	6.70E-02
	配餐室	东墙	患者走廊	U1	1名 <sup>131</sup> I患者(7400MBq)	240mm水泥砖	15.53	1.7	5.78
		南墙	配电室	U2		350mm水泥砖	19.41	1.6	1.47
西墙		楼梯间	U3	240mm水泥砖		15.53	2.8	2.13	
北墙		走廊	U4	350mm水泥砖		19.41	1.6	1.47	

患者走廊	防护门	患者走廊	U5	1名 <sup>131</sup> I患者 (7400MBq)	15mm铅板	15.00	1.7	6.46
	顶棚	警务室	U6		300mm混凝土	19.41	4.7	3.36E-01
	地板	楼梯间	U7		250mm混凝土	19.41	3.3	1.34
	东墙	患者走廊	V1		240mm水泥砖	15.53	5.6	5.33E-01
	南墙	留观/抢救室 卫生间	V2		240mm水泥砖	15.53	3.5	1.36
	西墙	楼梯间	V3		240mm水泥砖	15.53	5.2	6.18E-01
	北墙	走廊	V4		300mm水泥砖	19.41	1.8	2.29
	防护门	PET/CT检查 患者走廊	V5		15mm铅板	15.00	5.6	5.96E-01

由表 11-3 的估算结果可知，本项目核医学场所控制区边界外 30cm 处的附加剂量率最大为 2.49 $\mu$ Sv/h（PET/CT 出口防护门外 30cm 处），控制区内各房间周围的最大附加剂量率为 6.53 $\mu$ Sv/h，以上估算结果均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中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 $\mu$ Sv/h 的限值要求。综合以上分析结果可知，本项目核医学科显像诊断区域的实体屏蔽设计可行。

#### 11.2.3.4 X射线装置机房

本项目PET/CT机房和SPECT/CT机房的设计情况详见表11-4和表11-5。

表11-4 机房空间尺寸

机房名称	机房尺寸	机房面积	GBZ 130-2020要求	符合情况
PET/CT机房	东西长8.06m南北长5.76m	使用面积46.4m <sup>2</sup>	机房内最小单边长度4.5m 机房内最小有效使用面积30m <sup>2</sup>	符合
SPECT/CT机房	东西长8.06m南北长5.26m	使用面积42.4m <sup>2</sup>		

表11-5 机房屏蔽设计情况

场所名称	屏蔽体	屏蔽材料及屏蔽厚度	等效铅当量厚度（mmPb）	GBZ 130-2020要求	符合情况
PET/CT机房	东墙	240mm水泥砖	2.9	有用线束方向 和非有用 线束方向铅当 量厚度均 不小于2.5mm	符合
	南墙	240mm水泥砖	2.9		
	西墙	240mm水泥砖	2.9		
	北墙	240mm水泥砖	2.9		
	东侧防护门	10mm铅板	10		
	南侧防护门	6mm铅板	6		
	观察窗	10mmPb铅玻璃	10		
	顶棚	300mm混凝土	3.79		
	地板	250mm混凝土	3		

SPECT/CT 机房	东墙	240mm水泥砖	2.9	有用线束方向 和非有用 线束方向铅当 量厚度均 不小于2.5mm	符合
	南墙	240mm水泥砖	2.9		
	西墙	240mm水泥砖	2.9		
	北墙	240mm水泥砖	2.9		
	东侧防护门	3mm铅板	3		
	北侧防护门	3mm铅板	3		
	观察窗	3mmPb铅玻璃	3		
	顶棚	300mm混凝土	3.79		
	地板	250mm混凝土	3		

注：（1）铅密度为 11.34t/m<sup>3</sup>，水泥砖密度为 2.35t/m<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35t/m<sup>3</sup>；  
（2）根据GBZ 130-2020附录C公式C.2进行混凝土和砖等效铅当量换算（管电压取140kV），300mm混凝土等效铅当量厚度为3.79mmPb，400mm混凝土等效铅当量厚度为5.42mmPb。

由表11-4和表11-5可知，本项目PET/CT机房和SPECT/CT机房的尺寸和屏蔽防护设计均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。本项目PET/CT的CT机最大管电压最高为140kV，实际运行时的最大管电流通常在300mA左右，与普通影像科CT的工况基本一致。环评单位查阅了普通影像诊断CT（140kV）的剂量率分布曲线，距CT机1m处的杂散X射线剂量率为0.052μGy/mAs（垂直）和0.051μGy/mAs（水平），电流通常不超过300mA，因此距离CT机1m处的杂散辐射剂量率最高约55.08mGy/h，故以此为例评价PET/CT设备和SPECT/CT设备的CT机运行时叠加辐射影响。

根据本项目PET/CT机房的屏蔽设计，屏蔽防护铅当量厚度最低为2.9mmPb，依据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录C计算得，屏蔽透射因子为1.60E-04，CT机靶点至机房外关注点的最近距离取3.4m，计算可得CT机运行所致周围的附加剂量率不大于0.76μSv/h。患者检查期间PET/CT机房周围最大附加剂量率为0.925μSv/h，考虑CT机扫描的剂量率叠加后，PET/CT机房周围30cm处附加剂量率最高为1.69μSv/h，仍满足不大于2.5μSv/h的剂量率限值要求。

根据本项目SPECT/CT机房的屏蔽设计，屏蔽防护铅当量厚度最低为2.9mmPb，屏蔽透射因子为1.60E-04，CT机靶点至机房外关注点的最近距离取3.2m，计算可得CT机运行所致周围的附加剂量率不大于0.86μSv/h。患者检查期间SPECT/CT机房周围最大附加剂量率为1.31E-02μSv/h，考虑CT机扫描的剂量率叠加后，SPECT/CT机房周围30cm处附加剂量率最高为0.86μSv/h，仍满足不大于2.5μSv/h的剂量率限值要

求。

假设所有PET/CT显像诊断患者均进行CT扫描（全年7500人次），每人CT扫描时间保守按照20s计，则全年CT扫描时间不超过41.7h，则CT扫描对PET/CT机房外30cm处全居留人员的最大附加剂量贡献不超过31.69 $\mu$ Sv/a。

假设所有SPECT/CT显像诊断患者均进行CT扫描，全年7700人次（含甲癌出院患者），每人CT扫描时间保守按照20s计，则全年CT扫描时间不超过42.8h，则CT扫描对SPECT/CT机房外30cm处全居留人员的最大附加剂量贡献不超过42.8 $\mu$ Sv/a。

因此，在保证PET/CT和SPECT/CT机房辐射防护施工工艺的前提下，2台设备的CT机在扫描期间对周围人员和环境辐射影响较小。

### 11.2.3.5 敷贴治疗环境影响分析

$^{90}\text{Sr}$ 核素的衰变类型为 $\beta^-$ （100%）， $\beta$ 射线最大能量为0.546MeV， $^{90}\text{Y}$ 核素的衰变类型为 $\beta^-$ （99.99%），放出的 $\beta$ 射线平均能量为0.934MeV，最大能量约为2.29MeV， $\beta$ 粒子的能量较高。 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器内的 $^{90}\text{Sr}$ 核素密封在包壳内，除活性面的源窗较薄外，其余五面均由铝质材料包裹，如401生产的 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴源外壳尺寸为28 $\times$ 28mm<sup>2</sup>，源窗的活性面积为20 $\times$ 20mm<sup>2</sup>，外包壳材质为铝。 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴源实际属于V类密封源，正常使用不会发生泄漏。因此， $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器使用期间主要考虑 $\beta$ 射线外照射防护和 $\beta$ 射线所致韧致辐射的防护。

① $\beta$ 射线： $\beta$ 射线的穿透能力较弱，当屏蔽材料的厚度等于或大于 $\beta$ 粒子在该材料中的最大射程时，即可将 $\beta$ 粒子完全挡住。参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审）中公式4.13当0.01 $<E_{\beta}<2.5\text{MeV}$ 时， $\beta$ 粒子在低Z材料的射程经验公式为：

$$R = 0.412 E^{(1.265 - 0.0954 \ln E)}$$

式中：R— $\beta$ 粒子在低Z物质中的射程（质量厚度），g/cm<sup>2</sup>；

E— $\beta$ 粒子的最大能量，取2.29MeV；

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

经计算， $^{90}\text{Y}$ 核素发射的2.29MeV的 $\beta$ 粒子在常见物质中的射程见表11-6。

表11-6  $^{90}\text{Y}$ 核素发射的 $\beta$ 粒子在常见物质中的最大射程（R=1.1g/cm<sup>2</sup>）

屏蔽物质种类	空气	人体皮肤	有机玻璃	混凝土	铝	铁	铅
--------	----	------	------	-----	---	---	---

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.00129	0.85	1.18	2.35	2.7	7.9	11.34
射程 (cm)	853	1.30	0.93	0.47	0.41	0.14	0.10

可见，<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器的β粒子在铝中的最大射程仅为4.1mm，敷贴器源包壳基本可以将β粒子完全挡住，因此，本项目工作场所的辐射水平主要取决于β射线所致韧致辐射。

②β射线所致韧致辐射：参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审）中公式4.20，对于平均能量为E<sub>b</sub>的β射线，在屏蔽材料中产生韧致辐射的空气吸收剂量率为：

$$D = 4.58 \times 10^{-14} AZ_e \left( \frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho)$$

式中：D—屏蔽层中由β粒子产生的韧致辐射在距离r处的空气吸收剂量率，Gy/h；

A—源的活度，取1.48E+9Bq（即40mCi）；

Z<sub>e</sub>—屏蔽材料的有效原子序数，取13（铝）、5.85（有机玻璃）；

E<sub>b</sub>—韧致辐射的平均能量，取0.934MeV；

μ<sub>en</sub>/ρ—平均能量为E<sub>b</sub>的韧致辐射在空气中的质能吸收系数，取2.138×10<sup>-3</sup>m<sup>2</sup>/kg；

经计算，距离<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器源不同距离处空气吸收剂量率计算结果见表11-7。

表11-7 距离敷贴器源不同距离处空气吸收剂量率

屏蔽材料 有效原子序数	不同距离处空气吸收剂量率 (Gy/h)						
	0.3m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
5.85（有机玻璃）	8.22	2.96	0.74	0.33	0.18	0.12	0.08
13（铝）	18.26	6.58	1.64	0.73	0.41	0.26	0.18

由表11-7可知，敷贴治疗期间按屏蔽材料源包壳屏蔽材料为铝计算，距离<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器源0.3m处空气吸收剂量率为18.26μGy/h，1m处空气吸收剂量率为1.64μGy/h，1.5m处空气吸收剂量率为0.73μGy/h，3m处空气吸收剂量率降至0.18μGy/h；

实际敷贴过程中，敷贴器距离治疗室四周墙体外30cm处的距离大于1.5m，韧致

辐射X射线能量保守取1MV，在混凝土中的半值层为15cm（数值取自ICRP 33号报告表3），敷贴治疗室墙为240mm水泥砖，剂量率可降低2个数量级，计算可得敷贴室墙外附加剂量率不超过 $7.3E-03\mu\text{Sv/h}$ ；敷贴器距离防护门外30cm处的距离约3m，由表11-7可得推算可得敷贴室防护门外约为 $0.1\mu\text{Sv/h}$ 。可见，敷贴治疗对治疗室外的辐射影响很小，满足本项目提出的小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率限值要求。

通过表11-6和11-7分析可知，储源状态下若要满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“距离贮源箱表面5cm和100cm处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 $10\mu\text{Sv/h}$ 和 $1\mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求，需要贮源箱具有一定的屏蔽能力，韧致辐射X射线在铅中的半值层为8mm（数值取自ICRP 33号报告表3）。因此，本环评建议敷贴器贮源箱防护厚度为8mmPb，并在箱内附上一层1cm厚的有机玻璃，即可满足限值要求。

#### 11.2.4 周围公众受照剂量估算

本项目核医学科位于教学科研楼负一层，工作场所外围公众可到达的区域主要包括：核医学科东侧候诊区、办公区，患者防护门出入口以及核医学科正上方和下方等区域。

人员年受照剂量的估算公式为 $E=H*T*t$ ；

其中：E表示年有效剂量， $\mu\text{Sv}$ ；H表示关注点处的附加剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；T表示该区域公众居留因子；t表示年受照时间，h/a；本项目核医学科各房间的使用时间统计如下：

（1）显像诊断患者的平均候诊时间为1h，PET候诊室和SPECT候诊室的全年累计使用时间均取 $2000\text{h/a}$ （ $8\text{h/d}\times 250\text{d/a}$ ）；保守假设每位PET患者均需要留观，留观时间平均取10min/人，则留观室的累计使用时间为 $1250\text{h/a}$ ；

（2）PET/CT机房年显像检查次数最多7500人次，显像检查平均约为15min/人次，则PET/CT机房累计使用时间为 $1875\text{h/a}$ 。SPECT/CT机房年显像检查次数最多7500人次，显像检查平均约为15min/人次，则SPECT/CT机房累计使用时间为 $1875\text{h/a}$ ；考虑甲癌患者出院后全身碘扫环节，每年200人次，显像检查平均约为20min/人次，则SPECT/CT机房累计使用时间 $1942\text{h}$ 。

(3) 按10%的<sup>99m</sup>Tc注射患者做运动负荷试验，每人次约20min左右，运动负荷室累计使用时间为416.7h/a；肺通气全年1250名患者，每人平均停留时间取20min，肺通气室年使用时间为416.7；

(4) 分装注射室<sup>18</sup>F药物累计注射时间取125h/a，<sup>99m</sup>Tc药物累计注射时间取125h/a；

(5) 平均每位甲癌患者住院4天，每年使用50周，病房周围及楼上相邻场所的年使用时间按2000h计算（8h/d×250d/a）。

病房周围最大瞬时剂量率是基于甲癌患者刚完成服药时估算得到的，实际情况下患者排泄将导致病房外附加剂量率迅速降低，以最大瞬时剂量率估算公众的受照剂量显然不符合实际情况。参考ICRP 第94号出版物的数据，患者体内大约55%施予活度的<sup>131</sup>I在服药后24h内排出体外。参考汤敏敏等《日尿排泄<sup>131</sup>I值估算甲状腺癌患者体内残留活度》（中国医药前沿，2013年3月第8卷第6期）的报道，35例甲癌服药患者24h排泄尿液的活度占服用活度的64.9%。可见，甲癌患者服用<sup>131</sup>I核素的50%以上会在24h内排出到衰变池系统。因此，在进行病房周围公众年受照剂量时，病房周围的平均附加剂量率水平保守取最大瞬时剂量率的50%（考虑患者住院第二天）。

(6) <sup>131</sup>I药物分装和服药时间用时总计约8min。甲癌患者每年200人，年累计分装服药时间为26.7h；甲亢患者每年2500人，年累计分装服药时间为333.3h；废物间的使用时间保守按全年8760h计算；

根据上述工作时间和计算模式，结合表11-3的计算结果，本项目核医学科周围公众成员的年受照剂量估算结果见表11-8。可见，公众的受照剂量不超过0.074mSv/a（病房楼上远程影像室），估算结果满足本项目设定的公众0.1mSv/a的剂量约束值。

**表11-8 核医学科周边公众成员的年受照剂量估算结果**

公众停留区域	关注点位置	最大瞬时剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	年照射时间 (h/a)	居留因子	年最大受照剂量 ( $\mu$ Sv/a)
PET/CT注射分装室东侧医护办公室	K1	4.38E-01	125	1	54.75
PET/CT机房北墙医护走廊	N4	1.38E-01	1875	1/5	51.57
病房1上方室外空地	R4	3.36E-01	8760	1/40	73.58
配餐室北墙走廊	U4	1.47	3.3	1/5	0.97

本项目核医学科工作场所实行分区和门禁管理，放射性药物操作、病人用药、候诊、住院和显像检查区域及周边场所，无关人员通常无法进入，通常只有患者停留，患者不按公众考虑；患者亲属等陪诊人员，可能在周围监督区内偶尔驻留（无固定驻留且时间很短），他们不属于主要的辐射防护对象。甲癌患者治疗期结束出院后，体内残留  $^{131}\text{I}$  的放射性也可能对周围公众产生外照射辐射。本项目甲癌患者出院前，进行患者剂量检测，确认患者 1m 处剂量率低于  $25\mu\text{Sv/h}$  后方可安排出院。

### 11.2.5 职业人员附加剂量估算

#### 11.2.5.1 显像诊断环节工作人员剂量估算

##### (1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物分装

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物分装在分装注射室的通风橱内进行。每次分装的操作时间不超过 2min，年标记分装时间累计不超过 250h。距通风橱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率保守按  $2.5\mu\text{Sv/h}$  计算。

##### (2) $^{18}\text{F}$ 药物分装

$^{18}\text{F}$  药物的分装和活度测量操作均在  $^{18}\text{F}$  通风橱内完成，每个工作日至多进行 30 次  $^{18}\text{F}$  药物分装操作。 $^{18}\text{F}$  药物分装时间为 2min/次，年累计药物分装时间为 250h/a，距  $^{18}\text{F}$  通风橱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率保守按  $2.5\mu\text{Sv/h}$  计算。

##### (3) 药物转运环节

$^{18}\text{F}$  药物注射器运输使用转运铅盒（防护厚度为 25mmPb）运输，每次从通风橱运送至注射位的时间按 10s/次，年累计运输时间为 20.8h。运送过程中工作人员距铅盒约 30cm，10mCi 的  $^{18}\text{F}$  药物经 25mmPb 的运输铅盒屏蔽后（衰减因子为  $3.12\text{E}-02$ ），则铅盒外 30cm 处的剂量率约为  $18.3\mu\text{Sv/h}$ ； $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物注射器转运铅罐防护厚度为 10mmPb，每次运送时间按 20s/次，年累计运输时间为 62.5h。25mCi 的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物经 10mmPb 铅罐屏蔽后（衰减因子为  $1.00\text{E}-10$ ），则铅罐表面 5cm 处剂量率不超过  $1.12\text{E}-06\mu\text{Sv/h}$ ，工作人员受照剂量约为  $4.2\text{E}-05\mu\text{Sv}$ ，因此  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物转运对工作人员的附加剂量可以忽略。

##### (4) 药物注射环节

《放射性核素和辐射防护数据手册》[Radiation Protection Dosimetry.98（1），2002]

给出活度为 1MBq 的  $^{18}\text{F}$  药液，对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为  $1.81\text{E}-03\text{mSv/h}$ ，注射 555MBq (10mCi) 的  $^{18}\text{F}$  药液时，距药液 30cm 处人的深部当量剂量率约为  $670\mu\text{Sv/h}$ 。 $^{18}\text{F}$  药物注射时使用防护厚度为 40mmPb 的注射窗进行防护，剂量率至少可降低两个数量级，由于注射窗可能不能完全屏蔽人体所有部位，注射窗口人员操作位的剂量率保守按  $10\mu\text{Sv/h}$  计算。 $^{18}\text{F}$  药物平均注射时间为 1min/人次，全年药物注射总时间为 125h/a。

参照《放射性核素和辐射防护数据手册》，将活度为 1MBq 的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药液看作点源，对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为  $2.61\text{E}-04\text{mSv/h}$ 。所以，注射 25mCi (925MBq)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物时距 30cm 处人的深部当量剂量率为  $241\mu\text{Sv/h}$ 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物注射时使用 20mmPb 的注射窗或 5mmPb 的注射车（衰减因子分别为  $1.0\text{E}-20$  和  $1.0\text{E}-05$ ），注射窗和注射车可能不能完全屏蔽人体的所有部位，因此人员操作位剂量率保守按降低两个量级  $2.41\mu\text{Sv/h}$  进行估算。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物平均注射时间为 1min/人次，全年药物注射总时间为 125h/a。

#### (5) 锡气制备与施用环节

①加样：制备 Technegas 前，工作人员需向锡气发生器舟型坩埚中注入 20mCi 高锡酸钠注射液，该过程操作药物的时间不超过 1 分钟。参照《放射性核素和辐射防护数据手册》，1MBq 的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  点源对距离 30cm 处人的深部当量剂量率为  $2.61\text{E}-04\text{mSv/h}$ ，操作 20mCi (740MBq)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物时距 30cm 处人的深部当量剂量率为  $192\mu\text{Sv/h}$ 。按全年最多 500 例病人进行计算，年累计加样操作时间为 8.33h，工作人员加样时穿戴 0.5mmPb 铅衣（衰减因子为  $3.16\text{E}-01$ ），则工作人员加样环节所受年附加剂量为  $505\mu\text{Sv}$ （操作距离保守取 30cm）。

②锡气施用： $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气体制备好后，由工作人员指导患者吸入  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气体。病人吸气后约 20MBq 的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气体被吸收（主要沉积在肺部），另有约 20MBq 的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气体吸附在 PAS 过滤装置内，吸药患者（20MBq）和过滤装置（20MBq）会对工作人员产生外照射影响，施用过程中工作人员距患者和过滤装置取 1m，吸入气体及观察过程用时约 5min，距离 40MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物 1m 处剂量率为  $0.94\mu\text{Sv/h}$ ，则锡气施用过程对工作人员的外照射剂量为  $0.94\mu\text{Sv/h}\times 5\text{min}/60\text{h}\times 500=39.2\mu\text{Sv}$ 。计算中未考虑患者身体的衰减

作用。

本次理论估算出 1 次 Technegas 制备和给药过程操作者受到的外照射剂量是  $1.09\mu\text{Sv}$ 。根据李蓓蕾等《Technegas 肺通气显像中医务人员的辐射剂量水平监测与评价》，在整个 Technegas 制备和施药过程中，操作者受到的外照射累积剂量是  $0.38\sim 1.0\mu\text{Sv}$ ，与本项目理论估算结果接近。工作人员在实际操作中，应规范操作，增加熟练程度，尽量缩短操作时间。

③内照射剂量：Technegas 制备和施药期间会有少量的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气体逸散到周围空气中，JJ.LLOYD 等对肺通气场所的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气溶胶浓度做了检测评价分析，根据《Contamination levels and doses to staff arising from the use of Technegas》检测数据，不考虑通风情况下制备和给药场所  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  气溶胶的浓度范围为  $17\sim 195\text{kBq}/\text{m}^3$ 。每次 Technegas 制备和给药过程工作人员在肺通气室内停留时间按 10min 考虑，年累计停留时间 5000min，工作人员每分钟吸入空气体积取  $0.02\text{m}^3$ ，根据《辐射安全手册》单位活度  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  所致人有效剂量约  $10\mu\text{Sv}/\text{MBq}$ ，则工作人员内照射剂量为  $195\times 10^3\text{MBq}/\text{m}^3\times 0.02\text{m}^3/\text{min}\times 5000\text{min}\times 10\mu\text{Sv}/\text{MBq}=195\mu\text{Sv}$ 。制备施给过程均在核医学科肺通气室进行，肺通气室设计有排风系统，工作人员操作期间佩戴防护口罩。因此实际内照射剂量要远小于理论估算值。

综上，锝气制备和施用期间工作人员的年附加剂量为  $505\mu\text{Sv}+39\mu\text{Sv}+195\mu\text{Sv}=740\mu\text{Sv}$ 。

#### (6) 患者摆位和设备操作环节

PET 患者开展显像检查前已经过 1h 候诊，此时距离受检者 1m 处的剂量率取  $23.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，技师摆位时与患者的平均距离取 1m，患者摆位时间平均 30s/人次，年累计摆位时间为 62.5h；

PET 患者平均扫描时间为 15min/人次，PET/CT 设备年累计操作时间为 1875h；

注射  $925\text{MBq}^{99\text{m}}\text{Tc}$  药物患者 1m 处的剂量率取  $19.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，技师摆位时与患者的平均距离取 1m，摆位时穿戴  $0.5\text{mmPb}$  铅衣（衰减因子为  $3.16\text{E}-01$ ），则技师铅衣后的剂量率为  $6.07\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。SPECT 患者摆位时间平均 30s/人次，全年 7500 人次（含 500 名肺通气显像患者），则全年累计摆位时间为 62.5h。SPECT 患者平均扫描时间为

15min/人次，SPECT/CT 设备年操作时间为 1875h；

此外，甲癌患者出院后需要进行 SPECT 全身碘扫，出院后的甲癌患者 1m 处剂量率保守取 25 $\mu$ Sv/h，技师摆位时与患者的平均距离取 1m，摆位时穿戴 0.5mmPb 铅衣（衰减因子为 0.9），则技师铅衣后的剂量率为 22.5 $\mu$ Sv/h。甲癌患者摆位时间平均 30s/人次，全年 200 人次，则年累计摆位时间为 1.7h。甲癌患者平均扫描时间保守取 20min/人次，SPECT/CT 设备年操作时间为 66.7h；

### (7) 设备质控环节

#### ①SPECT/CT 设备质控

物理师定期进行 SPECT/CT 的质控检测（包括均匀性、平面灵敏度、计数率等指标），假设每年设备质控总计需要用掉 740MBq 的 <sup>99m</sup>Tc 药物，操作距离取 30cm，740MBq 的 <sup>99m</sup>Tc 药物距 30cm 处人的深部当量剂量率为 193.1 $\mu$ Sv/h，操作人员穿戴 0.5mmPb 铅衣（衰减因子为 3.16E-01），则铅衣后的剂量率为 61 $\mu$ Sv/h。每次设备质控的操作时间保守取 1h。

#### ②PET/CT 设备质控

每周使用 <sup>68</sup>Ge 密封源进行 1 次 PET/CT 质控检测，该环节需将校准源从源罐内取出并放于 PET/CT 扫描床上，然后在控制室进行操作。检测完成后将校准源放回源罐，送回储源室。本项目单枚 <sup>68</sup>Ge 校准源活度最大为 100MBq，主要考虑 <sup>68</sup>Ge 核素衰变子体 <sup>68</sup>Ga 的影响，<sup>68</sup>Ga 的 K $\gamma$ 常数为 0.134 $\mu$ Sv·m<sup>2</sup>/（MBq·h），操作距离取 50cm，则操作位剂量率为 53.6 $\mu$ Sv/h，每次操作裸源的时间至多 2min，年操作 50 周，年累计操作时间为 1.67h；

### (8) 显像诊断环节工作人员年附加剂量小结

根据前文分析，核医学科显像诊断环节工作人员年附加有效剂量统计结果见表11-9。

表11-9 显像诊断环节工作人员年附加有效剂量

人员岗位	工作环节	操作位附加剂量率( $\mu$ Sv/h)	年工作时间(h/a)	附加剂量(mSv/a)	总附加剂量(mSv/a)	备注
护师	<sup>99m</sup> Tc药物分装	2.5	250	0.63	2.98	至少2名护师轮岗
	<sup>18</sup> F药物分装	2.5	250	0.63		

	<sup>18</sup> F药物转运	18.3	20.8	0.38		
	<sup>18</sup> F药物注射	2.5	125	0.31		
	<sup>99m</sup> Tc药物注射	2.41	125	0.30		
	肺通气施药	/	/	0.74		
技师 (PET)	PET患者摆位	23.2	62.5	1.45	2.05	至少2名 技师轮岗
	PET设备操作	3.19E-01	1875	0.60		
技师 (SPECT)	门诊患者摆位	6.07	62.5	0.38	1.05	至少2名 技师轮岗
	甲癌患者摆位	22.5	1.7	0.04		
	设备操作（门诊）	3.19E-01	1875	0.60		
	设备操作（甲癌）	4.51E-01	66.7	0.03		
技师	PET设备质控	53.6	1.67	0.09	0.16	至少2名技 师轮岗
	SPECT设备质控	61.0	1.0	0.06		
	<sup>99m</sup> Tc药物质检	0.31	25	0.01		

由表11-9可知，本项目显像诊断环节中，护师岗位的年附加剂量不超过2.98mSv/a，技师岗位年附加剂量不超过2.05mSv/a，以上估算结果均满足本评价设定的职业人员5mSv/a的剂量约束值要求。本项目核医学科的工作人员不从事其他辐射工作，不再考虑剂量叠加。

#### 11.2.5.2核素治疗环节工作人员剂量估算

<sup>131</sup>I核素治疗环节工作人员的受照剂量主要来自γ射线外照射和吸入内照射。

##### (1) 药物分装和指导服药：

①外照射剂量：本项目核素治疗场所年累计治疗2700人次（即2500名甲亢患者和200名甲癌患者）。<sup>131</sup>I药物分装使用碘自动分装仪，工作人员隔室操作分装仪，通过视频监控和语音系统指导患者服药，不近距离接触服药患者。工作人员在进行药物分装前需要将<sup>131</sup>I药物源罐放至自动分装仪内，每次操作时间保守取60s，年累计操作时间不超过45h，操作过程中工作人员与源罐的距离取0.5m，核医学科每周使用<sup>131</sup>I药物的总活度最多为900mCi，经过30mmPb铅罐屏蔽后（衰减因子1.87E-03），距源罐0.5m处剂量率为14.8μSv/h，则该环节工作人员年受照剂量为14.8μSv/h×45h/a=666μSv/a；

工作人员隔室操作自动分装仪，每次分装的平均操作时间取5min，年累计操作

分装仪的时间不超过225h，药物分装期间，通风橱旁附加剂量率为 $1.02E-01\mu\text{Sv/h}$ ，则药物分装环节工作人员年受照剂量为 $0.102\mu\text{Sv/h}\times 225\text{h/a}=22.95\mu\text{Sv/a}$ ；

病人服药平均时间取3min，则甲癌患者年累计服药时间为10h，甲亢患者服药年累计服药时间为125h。甲癌患者服药时分装室内附加剂量率为 $7.62E-01\mu\text{Sv/h}$ ，甲亢患者服药时分装室内附加剂量率为 $8.83E-03\mu\text{Sv/h}$ ，则指导患者服药环节工作人员年受照剂量为 $0.762\mu\text{Sv/h}\times 10\text{h/a}+8.83E-03\mu\text{Sv/h}\times 125\text{h/a}=1.11\mu\text{Sv/a}$ ；

②内照射剂量：参考张震等《4家核医学工作场所空气中 $^{131}\text{I}$ 活度浓度的监测》（工业卫生与职业病2013年第39卷第3期）中对4家三甲医院的 $^{131}\text{I}$ 分装室空气中 $^{131}\text{I}$ 活度浓度的监测结果，4家医院核医学科 $^{131}\text{I}$ 分装室、服药室的空气中， $^{131}\text{I}$ 活度浓度范围为 $5.8\sim 320\text{Bq/m}^3$ ，保守取值为 $320\text{Bq/m}^3$ ；本项目工作人员每周在分装仪室内的停留时间取1h，年累计停留50h，工作人员每小时吸入空气体积取 $1.2\text{m}^3$ ，则年吸入 $^{131}\text{I}$ 的活度为 $320\text{Bq/m}^3\times 1.2\text{m}^3/\text{h}\times 50\text{h/a}=19200\text{Bq/a}$ 。根据GB 18871附录B表B3，吸入放射性碘剂量转换系数取 $1.1\times 10^{-8}\text{Sv/Bq}$ ，则工作人员年吸入 $^{131}\text{I}$ 的内照射剂量为 $211.2\mu\text{Sv/a}$ ；

## （2）医生护士查房：

①外照射剂量：医生和护士每周的查房时间不超过1h，年累计查房时间不超过50h。参考ICRP 第94号出版物数据，患者体内大约55%施予活度的 $^{131}\text{I}$ 在服药后24h内排出体外。通常情况下，在患者住院的前24h内，医生和护士只通过病房对讲系统查房，甲癌患者服用 $7400\text{MBq}^{131}\text{I}$ 药物24h后，根据患者1m处剂量率降为 $237.3\mu\text{Sv/h}$ ，距患者2m处（工作人员查房停留的距离）剂量率为 $59.3\mu\text{Sv/h}$ ，则医生和护士查房的年受照剂量为 $59.3\mu\text{Sv/h}\times 50\text{h/a}=2.965\text{mSv/a}$ ；考虑工作人员查房时穿戴 $0.5\text{mmPb}$ 铅衣（衰减因子为0.9），则年附加剂量为 $2.67\text{mSv/a}$ 。

②内照射剂量：参考ICRP 第94号出版物报道，呼出气中放射性碘含量为服用活度的 $0.008\%\sim 0.03\%$ ，治疗后第1d内每小时平均呼出活度为 $1.5\times 10^{-6}\text{Bq/（h}\cdot\text{Bq服用活度）}$ ；服药后2d内 $^{131}\text{I}$ 的呼出气浓度为 $20\sim 190\text{Bq/L}$ 。房间空气的平均浓度为 $80\sim 440\text{Bq/m}^3$ 。保守取值为 $440\text{Bq/m}^3$ ，每小时吸入空气体积取 $1.2\text{m}^3$ ，年累计查房时间50h，则预计内照射有效剂量为 $440\text{Bq/m}^3\times 1.2\text{m}^3/\text{h}\times 50\text{h/a}\times 1.1\times 10^{-5}\text{mSv/Bq}=0.29\text{mSv}$ 。

## （3）核素治疗环节工作人员年附加剂量小结

根据前文分析，核医学科核素治疗环节工作人员年附加有效剂量统计结果见表11-10。

**表11-10核素治疗环节工作人员年附加有效剂量**

工作内容	照射类型	附加剂量 (mSv/a)	总附加剂量 (mSv/a)
药物分装和指导服药	外照射	0.690	0.901
	内照射	0.211	
查房	外照射	2.67	2.96
	内照射	0.29	

由表11-10可知，本项目核素治疗环节中，药物分装和指导服药的年附加剂量不超过0.901mSv/a，查房的年附加剂量不超过2.96mSv/a。估算结果均满足本评价设定的职业人员5mSv/a的剂量约束值要求。本项目核素治疗工作人员与显像诊断工作人员的工作内容不交叉，不再进行剂量叠加。

### 11.2.5.3敷贴治疗环节工作人员剂量估算

#### (1) 敷贴治疗环节：

由前文表11-7的计算结果可知，距离<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器源0.3m处空气吸收剂量率为18.26μGy/h，1m处空气吸收剂量率为1.64μGy/h，3m处空气吸收剂量率降至0.18μGy/h；根据医院提供的信息，<sup>90</sup>Sr-<sup>90</sup>Y敷贴器年计划治疗100例患者，假设患者病灶处需要进行10次敷贴，每次敷贴操作人员贴源的时间约20s，则工作人员每年贴源的时间为预计不超过10h，工作人员进行贴源操作时距源约30~50cm，则估算可得敷贴器操作人员年有效剂量约为0.1mSv/a。与核医学科显像诊断、核素治疗工作人员的年有效剂量叠加后，仍满足本项目设定的工作人员5mSv/a的剂量约束值要求。

由于敷贴源自身就会产生一定强度的韧致辐射，因此工作人员在操作期间，应注意充分利用时间、距离和屏蔽防护手段，操作时避免正对源窗，增大操作距离，提高操作熟练程度，减少操作时间，穿戴个人防护用品。

### 10.2.6放射性“三废”环境影响分析

#### (一) 放射性固体废物

##### (1) 显像诊断废物分析

显像诊断区域放射性固废主要包括： $^{18}\text{F}$ 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物分装、注射、质控环节产生的废弃注射器、针头、吸水纸、去污废物、被污染的一次性用品等； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气施药环节产生的一次性吸气管、咬嘴、过滤器、石墨坩埚和去污废物等。此外还包括排风口的活性炭滤芯、高效过滤器等。

本项目核医学科全年开展 $^{18}\text{F}$ 显像检查7500人次，全年开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查7700人次，平均每人次检查产生放射性固体废物0.02kg，全年显像检查产生放射性固体废物约304kg；全年开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气检查不超过500人次，平均每人次施药产生放射性固体废物按0.1kg，全年产生放射性固体废物预计50kg；根据以上分析，显像诊断区域满负荷运行年产生放射性固废预计为354kg。

放射性固废的收集均安排在显像诊断工作结束后或开始前无病人的时间段进行，使用不易破损的塑料袋收集密封，并标注所含核素种类和收集日期后，转移至废物间的铅桶内暂存；显像诊断区域每月产生放射性固废约25kg，废物间的2个铅废物桶容积均为40L，1个废物桶可满足超过30天暂存要求，两桶轮流使用。

此外，显像检查区域排风系统的2个活性炭滤芯（每个不大于5kg）和通风橱、集气罩的3个高效过滤器（每个不大于2kg）计划每年更换1次，预计将额外产生16kg的固体废物，上述废弃滤材将妥善收集，密封包装后暂存在废物间内，按照放射性固废的要求进行暂存。

退役 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 敷贴器由供源厂家负责回收或送交有放射性废物贮存资质的单位贮存。

## （2）核素治疗废物分析

核素治疗区域放射性固废主要包括服碘口杯、去污废物和生活垃圾、排风口活性炭滤芯等。本项目核医学科全年开展 $^{131}\text{I}$ 甲癌治疗200人次，全年开展 $^{131}\text{I}$ 甲亢治疗2500人次，平均每人次服药产生的放射性固体废物0.1kg（主要为服碘口杯、一次性用品及去污废物等），预计全年产生放射性固体废物250kg（甲癌服药+甲亢服药）。

甲癌住院患者使用过的各类物品，以及生活垃圾如一次性餐具、纸巾纸杯、废弃用品等固体废物，会有不同程度的放射性污染，应当按产生日期集中收集并暂

存。甲癌患者使用过的污染被褥枕头和病服应统一收集至污染被服间，至少存放衰变9天后再进行清洗。对于上述固废，按照每位患者每天平均产生0.5kg进行估算，核医学科每年最多收治200名甲癌患者，每位患者平均住院时间为4天，预计年产生固废400kg。根据以上分析，核素治疗区满负荷运行年产生放射性固废约650kg左右。

核素治疗区域放射性固废的收集均安排在周末进行，使用不易破损的塑料袋收集密封，并标注所含核素种类和收集日期后，转移至治疗区废物间的铅箱内暂存。核素治疗区域每周产生放射性固废约13kg，废物间的5个铅废物箱，总容积为200L，预计可满足<sup>131</sup>I放射性固废的暂存超过180天的要求。此外，核素治疗区域排风系统的碘过滤器计划每年更换1次，预计将额外产生50kg的固体废物，废旧滤芯应妥善收集、密封包装后转移至废物间内，按照<sup>131</sup>I放射性固废的要求进行暂存。

核医学科根据实际预约量按需订购<sup>131</sup>I药物，通常不会有剩余，如遇特殊情况患者未能就诊，多余的药物仍贮存在<sup>131</sup>I铅罐内并暂存在储源室，对周围环境辐射影响很小。<sup>131</sup>I药物铅罐在下次送药时由供药厂家负责回收处理，医院不得自行处理。

### （3）固废解控

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，本项目放射性废物将根据放射性核素种类进行分类收集和分别处理。含<sup>18</sup>F和<sup>99m</sup>Tc核素的放射性固废暂存时间超过30天，含<sup>131</sup>I核素的放射性固废暂存超过180天后，使用经检定或校准合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行检测，辐射剂量率为所处环境本底水平且β表面污染水平小于0.8Bq/cm<sup>2</sup>时，对废物进行清洁解控并作为医疗废物处理。在放射性固废暂存和解控管理台账上详细记录解控废物所含的核素名称、重量、废物产生起始日期、废物处置人员、处置日期和监测结果等信息。

## （二）放射性废水

### （1）显像诊断废水

显像诊断区域的分装注射室、卫生通过间、淋浴间、污洗间、洗手池废水和洗污废水，患者候诊室卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入短半衰期衰变池。

核医学科PET候诊室和SPECT候诊室设置患者专用卫生间，按照所有患者每人

如厕1次，每次如厕和洗手的平均用水量按6L/次， $^{18}\text{F}$ 显像检查7500人次， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像检查7500人次，预计年产生废水量为 $90\text{m}^3$ 。分装注射室工作人员洗手池废水量按60L/天，年产生废水量为 $15\text{m}^3$ ，工作场所清洁废水量按60L/天，年产生废水量为 $15\text{m}^3$ ；药物质控废水每次1L，每月开展4次，年产生废水量 $0.05\text{m}^3$ ；假设每年出现2次应急情况，应急废水总排放量为 $2\text{m}^3$ 。此外，敷贴治疗室洗手池非放废水按20L/d计算，年产生废水量为 $5\text{m}^3$ ；根据以上分析，显像诊断区满负荷运行年产生放射性废水量约为 $127.1\text{m}^3$ 。

本项目短半衰期衰变池设有3个衰变槽轮流使用，单槽有效容积为 $10\text{m}^3$ ，注满单个衰变槽所用时间约28天。单个衰变槽注满后，该槽内放射性废水最多可继续暂存56天（即另外两槽依次注满的时间），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天”要求。

## （2）核素治疗废水

核素治疗区域的分装仪室、卫生通过间、污洗间、洗手池废水和洗污废水，病房卫生间废水以及应急废水，通过独立的排水管道一并排入长半衰期衰变池；

本项目核医学科全年计划收治200名甲癌患者，患者用水量按每人每天100L考虑，按人均住院4天计算，则年产生废水量 $80\text{m}^3$ 。工作人员每次分装药物产生的洗手、去污用水按平均5L/次考虑，甲癌年给药200次，甲亢年给药2500次，则年产生废水量 $13.5\text{m}^3$ ；工作场所清洁时清洗废水量按200L/周，年接诊40周，则年产生废水量 $8\text{m}^3$ ；假设每年出现1次辐射应急情况，应急淋浴用水总量保守按 $3\text{m}^3$ ；甲亢患者服药后无异常即离开核医学科，不使用核医学科的厕所和洗手池，不产生放射性废水。

根据以上分析，核素治疗区满负荷运行年产生放射性废水量约为 $104.5\text{m}^3$ ，平均每周产生废水量约为 $2.09\text{m}^3$ 。本项目长半衰期衰变池设有3个衰变槽轮流使用，单槽有效容积为 $30\text{m}^3$ ，注满单个衰变槽所用时间约为100天。单个衰变槽注满后，该槽内放射性废水最多可继续暂存200天（即另外两槽依次注满的时间），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含 $^{131}\text{I}$ 核素的暂存超过180天）”要求。

### （三）放射性废气

#### （1）显像诊断区域废气分析

$^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 药物的分装在通风橱内进行， $^{99m}\text{Tc}$ 和 $^{18}\text{F}$ 药物的物理性质稳定，药物操作环节挥发到空气中的份额可以忽略不计。

核医学科显像诊断工作场所设置独立的负压排风管道， $^{18}\text{F}$ 通风橱、 $^{99m}\text{Tc}$ 手套箱和肺通气室集气罩分别设置独立负压排风管道，工作场所气流组织按照监督区流向控制区的流向设置，管道内均设有止回阀。各排风管道均引至教学科研楼高空排放，楼顶排风口处均设有活性炭过滤装置，计划定期更换活性炭滤芯，保证过滤装置有效性。

此外，敷贴治疗室设有独立的排风管道，在正常排风条件下对周围环境影响可以忽略。

#### （2）核素治疗区域废气分析

本项目核素治疗区域设置1套独立的负压排风管道，排风管道引至教学科研楼楼顶上方高空排放，楼顶排风口处安装高效的碘过滤器（过滤效率不低于99%），以减少废气中放射性碘含量。

本项目甲癌和甲亢治疗使用的是 $^{131}\text{I}$ 液态口服药剂，正常服药期间对工作环境造成空气污染较小。本项目采用 $^{131}\text{I}$ 药液全自动分装仪进行活度测定、质检、分装等操作，上述操作均在全自动分装仪内完成，分装室内均设有排风口，排风管道引至教学科研楼楼顶上方高空排放，排风口高效碘过滤器的过滤效率不低于99%，预计对公众和周围环境影响很小。

放射性废气还来自患者体内代谢的 $^{131}\text{I}$ 随呼出气进入空气，以及放射性表面污染物的挥发。参考ICRP 第94号出版物报道，呼出气中放射性碘含量为服用活度的0.008%~0.03%，

治疗后第1d内每小时平均呼出活度为 $1.5 \times 10^{-6} \text{Bq}/(\text{h} \cdot \text{Bq服用活度})$ ；服药后2d内 $^{131}\text{I}$ 的呼出气浓度为20~190Bq/L。房间空气的平均浓度为80~440Bq/m<sup>3</sup>。为了防止 $^{131}\text{I}$ 在病房内蓄积，影响周围的医护人员和其它公众，病房设置有负压排风管道，病房内有效换气次数不低于6次/h。每间病房的卫生间和房间内各设1个通风口，含碘废

气有组织排放，风管内均设置止回阀，防止废气倒流至其他区域。楼顶排风口处碘过滤器的过滤效率不低于99%，因此，预计核素治疗区域的外排废气中 $^{131}\text{I}$ 浓度 $< 4.4\text{Bq}/\text{m}^3$ ，经过环境空气稀释和扩散后最大落地浓度至少降低1~2个数量级，低于本评价建议的公众DAC限值 $5.6\text{Bq}/\text{m}^3$ 要求，对周围公众和环境的影响轻微。

### 11.3 异常事件分析与防范建议

(1) 本项目核医学科在运行期间，主要存在以下事故风险：

①药物意外洒漏：在使用放射性同位素的过程中，因容器破碎，药物泼洒等意外事件，会对工作场所内部及周围环境造成外照射和 $\beta$ 放射性表面污染等辐射影响，还有可能被食入或吸入人体体内形成内照射危害；

②放射性物品保管不当，发生遗失或被盗：放射性药物、放射源失控可能造成局部环境的放射性污染，对工作人员和公众造成额外照射；

③放射性废物管理不善：放射性固体废物和放射性废水未暂存足够时间或者未按解控规定擅自处理，可能会造成局部环境放射性污染，对工作人员和公众造成辐射危害；

④ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶泄漏或逸出：施药时配合度差，导致 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶泄漏或逸出；未按操作规程施药造成 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶弥散；锝气发生器密闭装置泄漏导致 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 气溶胶泄漏或逸出；

⑤核素治疗管理不善：服药剂量偏离处方剂量较大；弄错患者导致错误给药；未核实情况下对怀孕、哺乳期妇女实施了不当的核素治疗。甲癌患者体内核素活度或1m处剂量率未降至出院水平以下即出院离开，对公众造成额外照射。

(2) 针对核医学科运行期间可能发生的辐射事故（件），建议采取以下防范措施：

①建立放射性药物使用管理制度，制定放射性药物操作规程，并对操作放射性药物的人员进行严格培训，须熟练掌握放射性药物操作技能和辐射防护基本知识后方可上岗工作。若放射性同位素操作过程中因容器破碎，药物意外泼洒造成放射性污染时，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或

纸巾擦拭，应注意从污染区的边缘向中心擦拭，直到擦干污染区。最后用表面污染检测仪监测污染区，如果 $\beta$ 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 $\beta$ 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

②核医学科工作场所的操作台面、地面、墙面应采用光滑、无渗漏、易去污的材料覆盖，在放射性药物操作区域出入口处设置卫生通过间，工作人员进出控制区需更换工作服和工作鞋，可有效避免放射性污染的扩散。

③储源室设置闭路监视和防侵入报警系统，安装防盗门，依照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA 1002-2012）落实相关要求，贮源场所通过公安部门验收后投入使用。此外，放射性药品由专业公司送达医院后，核医学科工作人员与送药人员在摄像头下“点对点”交接。采取上述措施后，可有效防范放射性药物丢失或被盗。若发生放射性药物或放射源遗失或被盗，核医学科当值人员应保护好现场，立即向医院的辐射安全管理专职人员报告，启动医院辐射事故应急预案，并上报当地公安部门和生态环境主管部门，并协助公安部门开展侦查和追缴；

④核医学科分装注射和服碘窗口外、病房内均配置放射性废物铅桶， $^{18}\text{F}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 固废和 $^{131}\text{I}$ 固废分开收集，含 $^{18}\text{F}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性固废在1#废物间铅桶内暂存不少于30天，含 $^{131}\text{I}$ 核素的放射性固废在2#废物间铅箱内暂存至少180天，达到解控水平后办理清洁解控，可有效避免放射性固废对环境造成污染和影响；显像诊断场所废水和核素治疗场所废水分开收集和暂存，显像诊断区域放射性废水暂存时间应超过30天，核素治疗区域放射性废水暂存时间应超过180天，达到解控水平后排放，可有效防止放射性废水对环境造成污染和影响；显像诊断区域和核素治疗区域设置独立的排风系统，并高于教学科研楼楼顶排放，排风口设置有活性炭过滤器和碘过滤器，可有效减少放射性废水排放对环境的影响；

⑤病人注射或者服碘前，要认真核对患者的姓名、性别、给药量，防止因错误给药导致患者受到事故性照射，或者因偏离处方剂量影响治疗效果。甲癌患者服碘后，在病房住院4天，配备患者离院前剂量率检测仪，患者离院前应进行剂量率检测，距离患者体表1m处周围剂量当量率低于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 方可安排出院，避免患者体内核素活度未降至出院标准而对公众造成不必要照射。

⑥严格落实个人剂量监测制度和辐射工作场所监测方案，利用辐射监测仪器开展辐射环境自行监测，监测记录存档。辐射安全管理小组须定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正；

⑦发生意外事件与事故时，工作人员应当立即向科室负责人、辐射安全管理专职人员报告，启动辐射事故应急预案。辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，保卫科负责保护现场，控制范围，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

## 表12 辐射安全管理

### 12.1辐射安全与环境保护管理机构的设置

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，保障工作人员的健康与安全，漳浦县医院设立了辐射防护安全管理小组，组长由院长担任，小组成员包括医院各部门领导、放射科室总负责人等，辐射防护安全管理小组全权负责全院辐射安全管理工作。医院已配备1名辐射安全防护专职管理人员，负责具体开展医院辐射安全与防护的具体工作。

### 12.2辐射安全管理规章制度

漳浦县医院依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，结合医院实际情况，已制定一套相对完善的辐射安全管理规章制度，现有各项辐射安全管理制度均已得到严格贯彻落实。

本项目实施后，漳浦县医院辐射安全许可的种类和范围将发生较大的变化。漳浦县医院应结合新项目的开展，组织相关人员修订并完善医院的辐射安全管理制度，并增加本项目工作场所辐射防护和安全保卫制度、台账管理制度、放射性药物外购、药物使用、放射性废物处置等相关规定，本项目医院拟新增完善的管理规章制度主要包括：《核医学科辐射防护和安全保卫管理制度》《核医学科放射性药品采购、交接与暂存管理制度》《核医学科放射性药品使用登记管理制度》《核医学科放射性药品台账管理制度》《核医学科核素治疗病房安全管理制度》《核医学科放射性废物暂存与解控管理制度》《放射源与射线装置台账管理制度》《放射源管理规定》《辐射监测仪器使用与校验管理制度》《辐射安全和防护设施维护维修管理制度》等。

本项目应新增的操作规程主要包括《核医学科放射性药物操作规程》《核医学科显像诊断设备操作规程》《敷贴治疗操作规程》，各项操作规程应在对应的操作位置张贴上墙。

医院应修订并完善工作场所辐射监测方案和辐射事故应急预案，将本项目核医学科辐射工作场所纳入医院监测方案和辐射事故应急预案进行管理。医院应当确保全部辐射工作有章可循，并根据辐射实践中发现的问题与经验，对辐射安全管理规章制度的不足之处进行及时修订，不断增强各项制度的适应性和可操作性，提升辐射安全管理的水平。

### 12.3辐射安全与防护培训

医院已制定辐射安全培训制度，所有辐射工作人员严格持证上岗制度。目前，医院从事辐射工作的职业人员和管理人员均通过了辐射安全与防护考核。此外，医院计划利用内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织辐射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全管理法规和防护新知识培训。

本项目核医学科拟配备的辐射工作人员，建设单位将及时安排其参加辐射安全与防护网上考核，考核类别为核医学，辐射安全与防护考核通过后，方可上岗从事辐射工作。

### 12.4辐射监测

#### （一）个人剂量监测

建设单位依据现有的监测方案开展个人剂量监测工作，所有从事辐射工作的人员均配备了个人剂量计，并按每季度一次的频度委托有资质的机构开展个人剂量监测。建设单位按照《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第55号）的要求建立了放射工作人员个人剂量档案并终生保存。

#### （二）辐射工作场所监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第18号）的要求，医院每年应委托有资质的检测机构对射线装置和非密封放射性物质工作场所进行1次工作场所环境辐射水平和表面污染水平监测；每次放射性废水排放前应委托有资质的检测机构对废水中的总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 和 $^{131}\text{I}$ 活度浓度进行监测，所有监测数据应记录并存档。本项目建设完成投入试运行的3个月内，须完成竣工环境保护验收监测。

#### （三）自行监测

为加强辐射安全管理，医院拟利用本项目配备的X- $\gamma$ 剂量率仪和表面污染监测仪开展辐射工作场所自行监测。自行监测采取定点监测和巡测相结合的方式进行，在各点位附近进行巡测（一般距地面1m处），重点对X- $\gamma$ 辐射剂量率较高的位置进行测量。所有自行监测结果应连同监测工况、监测人员、监测时间等一同记录并妥善保存。本项目各辐射工作场所的自行监测要求如下：

监测项目： $\beta$ 放射性表面污染、X- $\gamma$ 剂量率。

监测设备：表面污染监测仪，X- $\gamma$ 辐射剂量率仪。

监测频次：显像诊断区域的 $\beta$ 表面污染自行监测于每日工作结束后进行（1次/日），核素治疗区域 $\beta$ 表面污染自行监测于每周甲癌患者全部出院后进行（1次/周）；核医学科工作场所周围X- $\gamma$ 剂量率自行监测频次不少于1次/半年。

$\beta$ 表面污染监测点位：表面污染监测点位主要为通风橱、手套箱、注射窗、自动分装仪、服碘窗口等设备的操作台面；各功能用房内地面座椅病床；患者专用卫生间内地面墙面；显像扫描机房内地面床面；碘分装室门外走廊、病房门外走廊、注射窗口门外走廊以及患者出入口内走廊的地面墙面。

X- $\gamma$ 剂量率监测点位：X- $\gamma$ 剂量率监测点位均为各功能用房的屏蔽墙、防护门和四周门缝外30cm处以及核医学科控制区边界屏蔽体外30cm；显像诊断区域主要监测PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET候诊室、SPECT候诊室、留观抢救室、分装注射室、废物间、运动负荷室、肺通气室周围墙体和防护门外，以及楼上地面道路、教学科研楼一层等区域。核素治疗区域主要监测病房1、病房2、分装室、污染被服间周围墙体和防护门外，以及患者通道出入口防护外、楼上教学科研楼一层等区域。另外还应监测核医学科衰变池上方地面和井盖外的X- $\gamma$ 剂量率水平。

$\beta$ 表面污染控制水平：控制区、监督区的 $\beta$ 放射性表面污染控制水平分别不大于40Bq/cm<sup>2</sup>和4Bq/cm<sup>2</sup>。

剂量率控制水平：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 $\mu$ Sv/h。

建设单位应完善本项目核医学科自主检测的相关管理制度，并确定自主检测项目及 $\beta$ 表面污染自行监测点位、X- $\gamma$ 剂量率自行监测点位的详细检测点位布置图。

### **12.7辐射监测设备和防护用品**

医院拟为本项目新购置2台便携式辐射监测仪器，3台表面污染监测仪，1台甲癌患者离院剂量率检测仪，本项目拟为辐射工作人员配备满足要求的防护用品，个人防护用品具体情况见表10-9。

### **12.5辐射事故应急**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和国家环境保护总局145号通知《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的

规定，漳浦县医院应制定并完善《辐射事故应急预案》，将本项目各射线装置、放射源、核医学科工作场所纳入应急预案管理。更新应医院的辐射事故应急领导小组，将本项目核医学科的主要负责人纳入辐射事故应急领导小组。

医院的《辐射事故应急预案》应具有针对性和可操作性，应急预案至少应包括：辐射事故分级、应急组织机构及应急职责、应急响应流程及行动、事故上报程序、应急终止、应急演练和培训等内容。尤其应当针对核医学工作场所放射性物品丢失、被盗、放射性药物洒漏、局部环境放射性污染等一系列可能造成人员超剂量照射事故和环境污染事故等意外情况，制定详细的应急处置措施和应急响应流程。当发生辐射事故时，应立即启动医院《辐射事故应急预案》，采取必要的防范和缓解措施，并在2小时内填写《辐射事故初始事故表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

医院应每年至少组织1次全院辐射事故应急演练，辐射事故应急演练应根据可能发生的各类辐射事故，设计有针对性地进行演练，提升辐射事故的应急处置能力。

### 12.6项目环境保护验收内容建议

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规环评〔2017〕4号规定，自项目竣工之日起3个月内，漳浦县医院应开展自主验收工作，编制竣工环境保护验收监测报告，并向社会公开相关信息，接受社会监督。本环评建议自主验收内容及要求见表12-3。

**表12-3本项目竣工环境保护验收主要内容**

验收内容	验收要求
剂量限值和剂量约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定和环评预测结果，本项目对公众和职业工作人员的剂量约束值分别执行0.1mSv/a和5mSv/a。
剂量率控制水平	在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面30cm处的周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h；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不大于2.5μSv/h；通风橱、手套箱外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在核医学科控制区边界、各功能间门外和工作场所主要出入口处均设置电离辐射警告标识和中文警示说明。工作场所设置明显的分区管理标识和说明，PET/CT机房、SPECT机房防护门上方设有工作状态指示灯；
场所布局和屏蔽设计	核医学科工作场所布局和屏蔽防护措施与环评报告表描述一致，工作场所控制区边界处屏蔽墙、防护门、观察窗、屋顶，以及通风橱、手套箱等防护设施的屏蔽能力满足剂量率控水平要求。

辐射安全与防护措施	<p>核医学工作场所设有分区管理标识和说明。患者走廊设有单向门禁，患者单向通行。工作场所控制区出入口均设有门禁，禁止无关人员出入；工作场所内设置视频监控系统 and 语音对讲系统；储源室设置监控系统、防盗门和防闯入报警装置；放射性药物操作区域配备通风橱、手套箱、全自动分装仪、注射防护窗、铅废物桶等防护设备和铅橡胶个人防护用品；工作场所采取表面污染控制措施；</p> <p>以上具体内容参照本报告表10的要求执行。</p>
监测仪器	核医学科配备2台表面污染监测仪、1台便携式剂量率仪和1台患者离院前剂量率检测仪；所有工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。
“三废”防治措施	<p>核医学科设置满足要求的放射性固废暂存场所，配备数量足够的铅废物桶；建设有满足环境管理要求的放射性废水衰变池，并满足达标排放要求；</p> <p>核医学科工作场所设置有独立专用排风系统通风橱手套箱配有独立排风系统，排风口设置在所在建筑顶部高处，排风口设有活性炭等过滤装置；</p> <p>“三废”的防治措施与本报告表10的要求一致。</p>
规章制度	更新现有的辐射安全管理制度，增加本项目工作场所辐射防护与安全保卫制度、放射源管理制度、台账管理制度、放射性药物外购、药物操作、放射性废物处置等相关规定，新增设备的操作规程，将本项目所有辐射工作场所纳入复苏和监测方案管理。各项规章制度得到有效贯彻落实。
人员培训	本项目所有新增辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后方能上岗从事辐射工作。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了辐射事故分级、应急组织机构及应急职责、应急响应流程及行动、事故上报程序、应急终止、应急演练和培训等内容等。配备必要的应急器材、设备。针对射线装置、放射源、放射性药物使用过程中可能存在的风险，制定详细的应急处置措施和应急响应流程。开展过辐射事故应急演练。

**表13 结论与建议**

**13.1 结论**

**(一) 实践的正当性**

本项目漳浦县医院拟在教学科研楼负一层新建核医学科，用于开展核医学显像诊断与放射性核素治疗工作。本项目的建设将完善漳浦县医院放射诊疗服务能力，显著提升医院的放射诊疗水平，为宁南地区人民群众提供更全面、更便捷、更先进的医疗服务，具有良好的社会效益和经济效益。因此，本项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中“实践的正当性”原则。

**(二) 场所选址与布局**

本项目核医学科的选址和设计充分考虑了场所的运行特点和周边区域的辐射安全与防护，尽可能做到了相对集中、独立设置，场所出口无人群稠密区域，项目选址合理；本项目核医学工作场所布局充分考虑了核医学的工作特点和人员的安全与防护，工作场所“两区”划分明确，各功能区相对独立，功能用房齐全，工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径设置合理，实现了患者、医护、物流通道不交叉，可有效防止交叉污染，有助于工作的开展，场所布局合理。

**(三) 周围辐射环境现状**

本项目建设地点及周围天然环境 $\gamma$ 辐射剂量水平与福建省漳州市及周边的环境本底水平相当，未发现环境辐射水平明显异常。

**(四) 辐射安全与防护措施**

本项目核医学工作场所拟实行分区管理，设置明显的分区管理标识和说明，在核医学科控制区边界、各功能间门外和工作场所主要出入口处均设置电离辐射警告标识和中文警示说明，PET/CT机房、SPECT机房防护门上方拟设置工作状态指示灯和门灯联锁装置；患者走廊出入口设置单向门禁，工作场所控制区出入口均设置门禁，工作场所内设置视频监控系统和语音对讲系统；核医学科各储源室设置监控系统、防盗门和防闯入报警装置；放射性药物操作区域配备通风橱、手套箱、全自动分装仪、注射防护窗、铅废物桶等符合要求的防护设备和铅橡胶个人防护用品；

本项目核医学科拟配备3台表面污染监测仪、2台便携式剂量率仪和1台患者离院前剂

量率检测仪；上述各项辐射安全与防护措施落实后，可有效避免工作人员和公众受到意外照射。

### （五）辐射环境影响分析

由工作场所周围附加剂量率估算结果可知，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处，以及放射性药物操作柜体表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率均满足2.5 $\mu$ Sv/h的剂量率控制要求；本项目职业人员和公众成员的年附加有效剂量均满足本评价提出的职业人员5mSv/a和公众0.1mSv/a的剂量约束值要求。

### （六）辐射安全防护管理

漳浦县医院已成立辐射防护安全管理小组，全权负责全院辐射安全与防护管理的领导工作，配备有专职的辐射安全管理人员。漳浦县医院拟结合新项目的开展，组织相关人员修订并完善辐射安全管理规章制度，拟增加《辐射防护和安全保卫制度》《放射性药品采购、交接与暂存管理制度》《放射性药品使用登记管理制度》《台账管理制度》《核素治疗病房管理制度》《放射性废物暂存与解控管理制度》《放射源管理规定》《辐射安全和防护设施维护维修管理制度》《辐射监测仪器使用与校验管理制度》等各项管理制度。医院拟新增本项目各射线装置、放射源和放射性药品的操作规程，拟修订医院的辐射监测方案和辐射事故应急预案，将本项目各辐射工作场所及相关设备纳入医院监测方案和辐射事故应急预案进行管理。医院现有辐射工作人员全部通过了辐射安全与防护考核，本项目所有拟新增的辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，考核通过后方可上岗从事辐射工作。

与生态环境部2021年修订的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和原环保部第18号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》提出的具体要求进行对照评估，本环评报告中描述的辐射安全和防护措施得到落实后，能够满足项目安全运行的要求。

综上所述，漳浦县医院教学科研楼核技术利用项目，相应的辐射安全防护措施、辐射安全制度和放射性“三废”防治措施可行，在全面落实本报告提出的辐射防护与安全措施、放射性“三废”防治措施的前提下，本项目各射线装置、放射源和非密封放射性物质工作场所的运行对周围环境辐射影响符合环境保护的相关要求。故从辐射环境保护角度考

虑，该建设项目是可行的。

### 13.2 建议和承诺

为了保护环境，保障人员健康，漳浦县医院承诺：

- (1) 在项目运行过程中，严格遵守操作规程，不弄虚作假，不违规操作；
- (2) 定期检查核医学工作场所各项辐射安全与防护设施、放射性“三废”防治设施，发现问题及时整改，检查或整改记录妥善保存；
- (3) 不断加强全院的辐射安全管理工作，在实践中不断完善各项辐射安全管理规章制度，落实辐射安全管理责任；
- (4) 严格按照辐射监测方案定期对所有辐射工作场所进行监测，监测记录保存存档；
- (5) 加强辐射工作人员管理，所有辐射工作人员须参加辐射安全与防护考核，考核通过后方可上岗从事辐射工作；
- (6) 及时办理辐射安全许可证重新申领手续，严格落实建设项目环境保护“三同时”制度，在项目建设完成投入试运行后3个月内，及时组织竣工环境保护自行验收。在后续运行期间接受生态环境主管部门和其他监管部门的监督检查。

表14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公 章  
年 月 日

审批意见：

经办人

公 章  
年 月 日

附件1 辐射安全许可证





# 辐射安全许可证



中华人民共和国生态环境部监制



根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	漳浦县医院		
统一社会信用代码	12350623489720280M		
地 址	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号		
法定代表人	姓 名	黄志武	联系方式 13906961558
辐射活动场所	名 称	场所地址	负责人
	漳浦县医院 120 急诊楼	漳浦县医院 120 急诊楼	许程生
	漳浦县医院医疗综合大楼地下一层放疗中心加速器治疗室	福建省漳州市漳浦县绥安镇中华路 2 号	赵益发
	漳浦县医院医疗综合大楼地下一层放疗中心模拟定位 CT 室	福建省漳州市漳浦县绥安镇中华路 2 号	赵益发
	漳浦县医院门诊楼一楼导管介入室	福建省漳州市漳浦县绥安镇中华路 1 号	李文华
	漳浦县医院门诊综合楼四楼手术室 DSA 机房	福建省漳州市漳浦县绥安镇中华路 2 号	李文华
	证书编号	闽环辐证[00331]	
有效期至	2026 年 08 月 26 日		
发证机关	福建省生态环境厅		
发证日期	2025 年 06 月 10 日		





根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	漳浦县医院		
统一社会信用代码	12350623489720280M		
地 址	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号		
法定代表人	姓 名	黄志武	联系方式 13906961558
辐射活动场所	名 称	场所地址	负责人
	漳浦县医院门诊综合 4 楼口腔 CT 室	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号	李燕华
	漳浦县医院门诊综合 4 楼牙片室	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号	李燕华
	漳浦县医院门诊综合楼（移动 DR）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	漳浦县医院发热门诊区域（移动 DR）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	漳浦县医院门诊综合大楼（一楼联影 DR）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	漳浦县医院 120（一楼骨密度室）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	证书编号	闽环辐证[00331]	
有效期至	2026 年 08 月 26 日		
发证机关	福建省生态环境厅		
发证日期	2025 年 06 月 10 日		





根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	漳浦县医院		
统一社会信用代码	12350623489720280M		
地 址	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号		
法定代表人	姓 名	黄志武	联系方式 13906961558
辐射活动场所	名 称	场所地址	负责人
	漳浦县医院 120 急诊楼（一楼 CT 室）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	漳浦县医院 120 急诊楼（一楼 DR 室）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	漳浦县医院门诊综合楼（一楼胃肠）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	漳浦县医院门诊综合楼（4 楼手术室）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
	漳浦县医院门诊综合楼（一楼钼靶）	福建省漳州市漳浦县漳浦县医院中华路 2 号	许程生
证书编号	闽环辐证[00331]		
有效期至	2026 年 08 月 26 日		
发证机关	福建省生态环境厅		
发证日期	2025 年 06 月 10 日		





根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，经审查准予在许可种类和范围内从事活动。

单位名称	漳浦县医院		
统一社会信用代码	12350623489720280M		
地 址	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号		
法定代表人	姓 名	黄志武	联系方式 13906961558
辐射活动场所	名 称	场所地址	负责人
	漳浦县医院综合大楼一楼放射科	漳浦县医院综合大楼一楼放射科	许程生
	漳浦县医院综合大楼一楼 CT 室	漳浦县医院综合大楼一楼 CT 室	许程生
证书编号	闽环辐证[00331]		
有效期至	2026 年 08 月 26 日		
发证机关	福建省生态环境厅		
发证日期	2025 年 06 月 10 日		





### (一) 放射源

证书编号: 闽环辐证[00331]

序号	活动种类和范围				使用台账				备注			
	辐射场所名称	核素类别	活动种类	总活度(贝可)/ 活度(贝可) × 枚数	编码	出厂活度 (贝可)	出厂日期	标号	用途	来源	申请单位	监管部门
此页无内容												





## (二) 非密封放射性物质

证书编号: 闽环辐证[00331]

序号	活动种类和范围							备注			
	辐射活动场所名称	场所等级	核素	物理状态	活动种类	用途	日最大操作量 (贝可)	日等效最大操作量 (贝可)	年最大用量 (贝可)	申请单位	监管部门
此页无内容											





### (三) 射线装置

证书编号: 闽环辐证[00331]

序号	活动种类和范围				使用台账					备注		
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	产品序列号	技术参数(最大)	生产厂家	申请单位	监管部门
1	漳浦县医院 120 院 (一楼骨密度室)	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	双能 X 射线骨密度仪	Horizon-Wi	304205M	管电压 140 kV 管电流 2.5mA	豪洛捷		
2	漳浦县医院 120 急诊楼	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	数字化 X 射线摄影系统	X1600	2014UO1001005	管电压 70 kV 管电流 500 mA	Imaging Dynamics Company Ltd.		
3	漳浦县医院 120 急诊楼 (一楼 CT 室)	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	III 类	使用	1	X 射线计算机断层摄影设备	Revolution Maxima	CBDNG2000027HM	管电压 140 kV 管电流 560 mA	航卫通用电气医疗系统有限公司		
4	漳浦县医院 120 急诊楼 (一楼 DR 室)	医用诊断 X 射线装置	III 类	使用	1	数字化医用 X 射线摄影系统	MTP65-A	MTP6520050025	管电压 150 kV 管电流 7.10 mA	安健科技 (重庆) 有限公司		
5	漳浦县医院	血管造影用	II 类	使用	1	数字减影血管	INFX-	C5B1732005	管电压 125	东芝		



### (三) 射线装置

证书编号: 闽环辐证[00331]

序号	活动种类和范围				使用台账				备注			
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	产品序列号	技术参数(最大)	生产厂家	申请单位	监管部门
	院门诊楼一楼导管介入室	X射线装置				造影X线机	9000C		kV管电流 1000 mA	TOSHIBA		
6	漳浦县医院门诊综合楼4楼口腔CT室	口腔(牙科)X射线装置	III类	使用	1	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Smart 3D-Xs	DBC/ACEAH BBZ	管电压 100 kV管电流 10 mA	浙江朗视仪器有限公司		
7	漳浦县医院门诊综合楼4楼牙片室	口腔(牙科)X射线装置	III类	使用	1	口腔X射线机	CS2200	EGYT001	管电压 70 kV管电流 7 mA	Carestream Health, Inc		
8	漳浦县医院门诊综合楼(一楼联影DR)	医用诊断X射线装置	III类	使用	1	数字化医用X射线摄影系统	uDR588i	242268	管电压 150 kV管电流 630 mA	上海联影医疗科技有限公司		
9	漳浦县医院门诊综合楼(一楼胃肠)	医用诊断X射线装置	III类	使用	1	数字医用诊断X线透视摄影	Uni-Vision	61A3155	管电压 150 kV管电流 500 mA	北京岛津医疗器材有限公司		



### (三) 射线装置

证书编号: 闽环辐证[003331]

序号	活动种类和范围					使用台账				备注		
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	产品序列号	技术参数(最大)	生产厂家	申请单位	监管部门
10	漳浦县医院门诊综合楼(一楼钼靶)	医用诊断X射线装置	III类	使用	1	乳腺X线摄影系统	GIOTTO IMAGE 3D	1704100922	管电压 35 kV 管电流 500 mA	IMS		
11	漳浦县医院门诊综合楼(4楼手术室)	医用诊断X射线装置	III类	使用	2	移动式C形臂X射线机	Cios Select s1	11037	管电压 110 kV 管电流 24 mA	上海西门子医疗器械有限公司		
						移动式C形臂X射线机	Cios Select s1	12943	管电压 110 kV 管电流 24 mA	上海西门子医疗器械有限公司		
12	漳浦县医院门诊综合楼(移动DR)	医用诊断X射线装置	III类	使用	1	数字化移动式摄影X射线机	DP326B-2	DX0362111010698	管电压 150 kV 管电流 630 mA	深圳市安健科技股份有限公司		
13	漳浦县医院门诊综合楼(四楼手术室DSA机房)	血管造影用X射线装置	II类	使用	1	医用血管造影X射线机(DSA)装置	Allia IGS Ultra	DVJSS2500005HL	管电压 125 kV 管电流 1000 mA	奥创 OM		
14	漳浦县医院	粒子能量小	II类	使用	1	医用直线加速	Halcyon	1849	粒子能量 6	瓦里安		

13	漳浦县医院门诊综合楼四楼手术室 DSA 机房	血管造影用 X 射线装置	II类	使用	1	医用血管造影 X 射线机 (DSA) 装置	Allia IGS Ultra	DVJSS25000 05HL	管电压 125 kV 管电流 1000 mA	奥创 OM	
14	漳浦县医院 DSA 机房	粒子能量小	II类	使用	1	医用直线加速器	Halcyon	1849	粒子能量 6	瓦里安	

9/19



## (三) 射线装置

证书编号: 闽环辐证[00331]

序号	活动种类和范围				使用台账				备注			
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	产品序列号	技术参数(最大)	生产厂家	申请单位	监管部门
13	漳浦县医院门诊综合楼四楼手术室 DSA 机房	于 100 兆电子伏的医用加速器	II类	使用	1	医用血管造影 X 射线机 (DSA) 装置	Allia IGS Ultra	DVJSS25000 05HL	管电压 125 kV 管电流 1000 mA	奥创 OM		
14	漳浦县医院 DSA 机房	粒子能量小	II类	使用	1	医用直线加速器	Halcyon	1849	粒子能量 6	瓦里安		
15	漳浦县医院医疗综合楼地下一层放疗中心模拟定位 CT 室	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	III类	使用	1	大孔径 CT 器	SOMATO M go.sim	129127	管电压 140 kV 管电流 625 mA	西门子		
16	漳浦县医院综合大楼一楼 CT 室	医用诊断 X 射线装置	III类	使用	1	数字化医用 X 射线摄影系统	DRX-Ascend	QRAD-14N-0949	管电压 150 kV 管电流 800 mA	锐珂(上海)医疗器械有限公司		
17	漳浦县医院综合大楼一楼放疗科	医用诊断 X 射线装置	III类	使用	1	移动式数字摄影 X 射线系统	MUX-100DJ	61N772	管电压 125 kV 管电流 160 mA	北京岛津医疗器械有限公司		
18	漳浦县医院综合大楼一楼放疗科	医用 X 射线	III类	使用	1	X 射线计算机	Optima	14-3Q-CIA4	管电压 140	通用电气		

10/19



### (三) 射线装置

证书编号: 闽环辐证[00331]

序号	活动种类和范围				使用台账				备注			
	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	产品序列号	技术参数(最大)	生产厂家	申请单位	监管部门
		线计算机断层扫描(CT)装置	类			断层扫描系统	660		kV管电流 560 mA	疗日本公司		

# 福建省生态环境厅

---

闽环辐评〔2019〕13号

## 福建省生态环境厅关于批复漳浦县医院 1台 DSA 机项目环境影响报告表的函

漳浦县医院：

你单位报送的《漳浦县医院 1 台 DSA 机项目环境影响报告表》（以下简称“报告表”）和申请审批的函收悉。经研究，现函复如下：

一、在落实“报告表”提出的各项环境保护及辐射防护措施的前提下，同意你单位按照“报告表”中内容以及拟采取的辐射防护措施进行项目建设。

二、项目建设内容为：在漳浦县绥安镇中华路 1 号漳浦县医院门诊楼一楼导管介入室内，使用 1 台 DSA 机，为 II 类射线装置。

三、你单位必须全面落实“报告表”提出的各项辐射防护与安全管理措施，并着重做好以下工作：

（一）严格按照设计方案开展建设，确保导管介入室满足防护要求；导管介入室出入口要安装明显的工作状态指示灯和电离辐射警告标志，防止人员受到误照射。

（二）健全辐射安全和防护管理机构，建立并完善各项规章制度，严格按照环保要求和技术操作规程开展作业，加强设备

---

维护，定期对设备的操作、维修和管理措施进行检查，完善辐射事故应急预案并定期开展演练。

（三）使用射线装置的操作人员和相关管理人员应按要求参加辐射安全和防护培训并取得合格证书，做到持证上岗；建立健全个人剂量和职业健康档案，所有辐射工作人员均应按要求佩戴个人剂量计并接受剂量监测。

四、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和“报告表”的预测，本项目公众按0.25毫希沃特/年执行，职业人员剂量约束按5毫希沃特/年执行。

五、你单位应按规定向我厅申领辐射安全许可证，在许可范围内从事核技术利用相关活动，按时报送辐射安全年度评估报告。

六、项目建成后应按规定的标准和程序开展竣工环境保护验收。请漳州市生态环境局加强对项目的日常监督管理。你单位应在收到本批复后20个工作日内将经审批的“报告表”送漳州市生态环境局。



（此件主动公开）

抄送：漳州市生态环境局，福建省辐射环境监督站，四川省中椽环保科技有限公司。

## 漳浦县医院 1 台 DSA 机项目竣工环境保护验收意见

2020 年 7 月 25 日，漳浦县医院在漳浦县组织召开漳浦县医院 1 台 DSA 项目竣工环境保护验收会。由漳浦县医院（建设单位）、厦门亿科特检测技术有限公司（验收监测和报告编制单位）和专家 2 名组成验收组。

验收组对本次验收的项目进行了现场核查，听取了建设单位对项目环境保护执行情况的介绍和报告编制单位对竣工环境保护设施验收监测情况的汇报，并查阅了相关资料，形成验收意见如下：

### 一、项目基本情况

#### (1) 建设地点、建设内容

在漳浦县绥安镇中华路 1 号漳浦县医院在门诊楼一楼导管介入室新增 1 台 DSA，用于医疗诊治。

#### (2) 环评文件和辐射安全许可证

医院于 2019 年 2 月委托四川省中楨环保科技有限公司对漳浦县医院 1 台 DSA 机项目开展环境影响评价工作，2019 年 3 月 25 日取得福建省生态环境厅的批复（闽环辐评[2019]13 号），2020 年 3 月向省生态环境厅申请领取辐射安全许可证（许可证编号：闽环辐证[00331]，辐射工作的种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置）。

### 二、环保设施与措施落实情况

(1) 项目建设内容与环评批复内容一致，基本落实了环评文件和批复文件提出的环境保护及辐射安全与防护措施。

(2) 建设了满足辐射屏蔽要求的辐射工作场所，各辐射工作场所出入口安装明显的工作状态指示灯和电离辐射警告标志。

(3) 辐射工作场所为辐射工作人员和患者配备了个人防护用品，医院为所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并委托有资质单位开

展个人剂量监测。

(4) 医院成立了辐射安全管理领导小组，制订较完善的辐射安全管理规章制度，有较完善的辐射事故应急预案。医院现有 27 名辐射工作人员，现有 17 名已参加了辐射安全培训并取得合格证书。

### 三、环境保护设施调试效果

公司委托厦门亿科特检测技术有限公司开展现场监测，监测结果表明：漳浦县医院 DSA 机房周边 X- $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率正常工况监测平均值满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)中规定的在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，周围剂量当量率的控制目标值不大于 2.5 $\mu$ Sv/h 的要求。

根据剂量估算结果，辐射工作人员和公众成员年有效剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的辐射工作人员的连续五年有效剂量平均限值 20mSv 和公众人员年有效剂量限值 1mSv 的要求，同时满足本项目辐射工作人员的管理限值 5mSv/a 和公众人员管理限值 0.25mSv/a 的要求。

### 四、验收结论

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的有关规定，本次验收项目基本落实了环境影响评价文件及其批复提出的环保要求，验收组同意该项目通过竣工环境保护验收。

### 五、后续要求

医院应尽快配备辐射巡测仪和个人剂量报警仪等辐射监测设备，按监测计划定期开展监测。

验收组

2020 年 7 月 25 日

# 福建省生态环境厅

---

闽环辐评〔2023〕22号

## 福建省生态环境厅关于批复漳浦县医院一台 医用直线加速器项目环境影响报告表的函

漳浦县医院：

你单位报送的《漳浦县医院一台医用直线加速器项目环境影响报告表》（以下简称为报告表）和申请审批的函收悉。经研究，现函复如下：

一、在落实报告表提出的各项环境保护及辐射防护措施的前提下，同意你单位按照报告表的内容以及拟采取的辐射防护措施进行项目建设。

二、本项目位于漳州市漳浦县绥安镇中华路1号，漳浦县医院院区内，主要建设内容为：

在医疗综合楼地下一层新建一座直线加速器机房及辅助用房，配置使用一台6MV医用直线加速器（属Ⅱ类射线装置），开展放射治疗。

---

三、你单位必须全面落实报告表提出的各项辐射防护与安全管理措施，并着重做好以下工作：

（一）严格按照设计方案开展建设，完善相关辐射防护设施，确保医用直线加速器造成的辐射环境影响满足辐射安全和防护要求。

（二）按报告表要求设置控制区和监督区，安装门机联锁装置、紧急停机按钮、监控与对讲装置、紧急手动开门装置等，机房门外应安装明显的工作状态指示灯和电离辐射警告标志，防止人员受到误照射。

（三）健全并完善各项辐射安全和防护的管理规章制度，完善辐射事故应急预案并定期开展演练。配备防护用品、防护设施及监测仪器，定期进行自主监测，发现问题立即整改，防止发生辐射事故。

（四）辐射工作人员应按要求参加辐射安全培训并取得合格证书，做到持证上岗；建立健全个人剂量和职业健康档案，所有辐射工作人员均应按要求佩戴个人剂量计并接受剂量监测。

四、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规定，本项目的公众剂量约束值按 0.1 毫希

沃特/年执行，职业人员剂量约束值按 5 毫希沃特/年执行。

五、你单位应按规定向我厅重新申领辐射安全许可证，在许可范围内从事核技术利用相关活动，按时报送辐射安全年度评估报告。

六、你单位要严格落实环保“三同时”制度，落实各项环境保护措施。项目竣工后，须按规定标准和程序开展竣工环境保护验收。经验收合格后，项目方可投入运行。

七、你单位应在收到本批复后 20 个工作日内将经审批的报告表送漳州市生态环境局。请漳州市生态环境局加强对项目的日常监督管理。



(此件主动公开)

抄送：漳州市生态环境局，省辐射环境监督站、省环境影响评价技术中心，  
西安海蓝环保科技有限公司。

# 福建省生态环境厅

---

闽环辐评〔2025〕19号

## 福建省生态环境厅关于批复漳浦县医院新增 1台 DSA 机项目环境影响报告表的函

漳浦县医院：

你单位报送的《漳浦县医院新增 1 台 DSA 机项目环境影响报告表》（以下简称“报告表”）和申请审批的函收悉。经研究，现函复如下：

一、项目建设内容为：在漳浦县绥安镇中华路 2 号漳浦县医院的门诊综合楼四楼手术室，建设 1 间 DSA 机房及其配套设施，拟新增 1 台 DSA 机用于开展介入诊疗，为 II 类射线装置。

二、在落实报告表提出的各项环境保护及辐射防护措施的前提下，同意你单位按照报告表中内容以及拟采取的辐射防护措施进行项目建设。

三、你单位必须全面落实报告表提出的各项辐射防护与安全管理措施，并着重做好以下工作：

（一）严格按照设计方案开展建设，确保 DSA 机房满足辐

---

射防护要求；划分控制区和监督区，实行分区管理；DSA 机房出入口安装明显的工作状态指示灯和电离辐射警告标志，防止人员受到误照射。

（二）健全辐射安全和防护管理机构，建立并完善各项规章制度，严格按照环保要求和技术操作规程开展作业，加强设备维护，定期对设备的操作、维修和管理措施进行检查，完善辐射事故应急预案并定期开展演练。

（三）使用射线装置的操作人员和相关管理人员应按要求参加辐射安全和防护培训并取得合格证书，做到持证上岗；建立健全个人剂量和职业健康档案，所有辐射工作人员均应按要求佩戴个人剂量计并接受剂量监测。

四、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和报告表的预测，本项目公众剂量约束按 0.1 毫希沃特/年执行，职业人员剂量约束按 5 毫希沃特/年执行。

五、你单位应按规定向我厅重新申领辐射安全许可证，在许可范围内从事核技术利用相关活动，按时报送辐射安全年度评估报告。

六、你单位应严格落实环保“三同时”制度，落实各项环境保护措施。项目竣工后，须按规定标准和程序开展竣工环境保护验收。经验收合格后，项目方可投入运行。

七、你单位应在收到本批复后（20个工作日内），将经审批的报告表送至漳州市生态环境局。请漳州市生态环境局加强对项目的日常监督管理。



（此件主动公开）

抄送：漳州市生态环境局，福建省辐射环境监督站，福建明达工程技术服务有限公司。

- 3 -

## 漳浦县医院新增1台 DSA 机项目 竣工环境保护验收意见

漳浦县医院于2025年8月9日组织召开了漳浦县医院新增一台 DSA 机项目竣工环境保护验收会，参加会议的单位有：漳浦县医院(建设单位)、福建昂虎防护工程有限公司(设计和施工单位)、福建宏邦检测技术有限公司(环境检测单位)、福建明达工程技术服务有限公司(环评单位)以及特邀专家2名(名单附后)。

编制单位依照国家有关法律法规、建设项目竣工环境保护验收技术规范、项目环境影响评价报告表和审批部门意见等要求编制了本项目的竣工环保验收监测报告表。验收组根据项目现场视频，听取了编制单位对验收监测报告表的汇报，并对照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，审阅并核实了有关资料，经认真讨论，形成如下验收意见：

### 一、项目基本情况

漳浦县医院位于福建省漳州市漳浦县绥安镇中华路2号，为给患者提供更好的医疗服务，漳浦县医院在门诊综合楼四楼原预留的DSA机房内，配备1台DSA机(最大管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ )，用于放射诊断和介入治疗，属于II类射线装置。

## 二、工程变动情况

本工程性质、地点、规模、采取的环境保护措施等与环评阶段基本一致，对照《关于印发环评管理中部分行业建设项目重大变动清单的通知》（环办【2015】52号），本工程不涉及重大变动。

## 三、环保设施落实情况

本工程按照环境影响评价文件及其批复提出的要求，基本落实了污染防治和辐射安全与防护措施。

## 四、工程建设对环境的影响

施工期对周围环境造成的影响已消失，基本不存在环境遗留问题。运营期本项目 DSA 在摄影模式下，机房外辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。本项目正常运行时，DSA 工作人员职业照射的最大年有效剂量值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》（GB 18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于环评报告提出的剂量约束值（职业人员  $5\text{mSv/a}$ ，公众人员  $0.1\text{mSv/a}$ ）。本项目 DSA 机房采取机械通风的措施后，介入手术曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物可及时排出机房外，自然扩散至大气环境，臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小。

## 五、验收结论

本项目履行了环境影响评价制度及“三同时”制度；在施工期和运营期采取了相应的辐射安全与防护措施，基本落实了环评及其批复意见，提出的各项污染防治和辐射安全与防护措施可行，运营期间采取了有效的环境保护措施和辐射安全与防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小。验收组一致同意通过验收。

## 六、后续要求

1、制定详细可操作、职责明确的辐射安全与防护管理制度，确保环境管理职责明确，责任落实到位。

2、接受各级生态环境部门的监督和指导，及时对外公开环境信息，并接受社会的监督。

3、严格落实辐射安全与防护措施，编制和落实辐射安全与防护应急预案，并加强应急演练。

后附验收组成员名单



### 附件3 委托书

## 建设项目环境影响报告委托书

长润安测科技有限公司：

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境影响评价分类管理目录》《建设项目环境保护管理条例》等法律、法规的要求，我单位就新建核医学项目，现委托贵公司进行核技术利用建设项目环境影响评价，评价范围包括：新建；改建；扩建)拟投入使用的固定放射诊疗场所以及在上述场所的放射诊疗设备和工作人员。

委托单位：漳浦县医院

2025年5月30日



## 放射事故应急预案

### 第一部分 总则

#### 1.1 编制目的

为及时有效地应对放射事故，提高医学应急响应能力，避免或减少因放射性危害造成的放射事故造成的人员伤亡、社会影响和经济损失，将放射事故造成的损失降低到最小程度，最大限度地保障放射工作人员与公众的安全，维护正常的放射诊疗秩序，做到对放射事故早发现，速报告，快处理，建立快速反应机制，结合本院实际，制定本应急预案。

#### 1.2 编制依据

根据《中华人民共和国突发事件应对法》（国家主席令第69号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）、《放射诊疗管理规定》（卫生部令第46条）、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号）等有关法律、法规和规章制度制订本预案。

#### 1.3 工作原则

1.3.1 以人为本。凡可能因放射事故造成人员伤亡的部门，要落实日常避险措施；放射事故发生后，优先开展人员抢救应急处置行动，同时做好救援人员自身安全防护。

1.3.2 预防为主。加强对辐射源的监管、监测，建立突发辐射事故的预警和风险防范体系，及时控制、消除隐患。

1.3.3 分级负责。在医院统一领导下，充分发挥医院监管科室职能作用，加强全面监测管理，实行分级响应。医院各部门科室之间分工负责，相互协作。

1.3.4 平战结合。积极做好预防和应对放射事故的各项准备。加强培训演练，把预防和控制放射事故的各项措施落实到日常管理工作中。



## 第二部分 应急组织体系及职责

### 2.1 应急组织体系

成立漳浦县医院放射防护管理委员会，兼医院放射事件防范和处置应急小组。组长由黄志武院长担任，组员由相关职能部门和放射诊疗科室负责人担任，具体成员如下：

- 组 长：黄志武 (院长，电话 0596-3202061)
- 副组长：方克恒 (副院长，电话 13806935495)
- 李小波 (副院长，电话 13365917317)
- 组 员：林小周 (副院长，电话 13605011188)
- 张晓农 (副院长，电话 13559652566)
- 郑一贤 (副院长，电话 13605096625)
- 许志冬 (设备科，电话 13607599906)
- 赵益发 (肿瘤科，电话 13960082972)
- 许毅霆 (医务科，电话 13358307888)
- 戴仕远 (总务科，电话 15060506913)
- 郭周凯 (信息科，电话 13960052771)
- 许程生 (放射科，电话 13599670866)
- 陈锡章 (放射科，电话 13709363196)
- 陈泽明 (放射科，电话 13646085688)
- 余活泼 (心内科，电话 13105044299)
- 陈达生 (急诊科，电话 13607575534)
- 卢幼媚 (手术室，电话 13960072887)
- 林崇杰 (骨 科，电话 13959669920)
- 李文华 (介入室，电话 18359627100)
- 戴文华 (胃镜室，电话 18065759398)

放射防护管理领导小组下设放射防护工作办公室(挂靠医务科 电话：



0596-3202065)。

夜间及节假日由总值班协调各相关科室落实（电话：0596-3202071）。

## 2.2 职责划分

(1) 组长职责：全面负责医院辐射事故应急处理的组织指挥工作及人员、物资的调配工作。

(2) 副组长职责：负责收集信息，及时向生态环境部门、公安部门及卫生行政部门上报，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》；同时做好受伤害人员及家属的安抚工作；对于需要医学处理和治疗者进行妥善安排。

(3) 组员职责：负责辐射工作人员健康防护和辐射事故现场保护；协助上级主管部门调查事故、搜集证据、整理资料并做好记录；对设备维护人员实施监督管理。加强对事故现场的治安维护工作，密切配合并协助上级主管部门做好事故现场的保卫工作，防止现场物资及财产被盗或者丢失，防止辐射事故次生危害。

(4) 参加辐射应急救援人员职责：自觉遵守纪律，服从命令，听从指挥，为完成救援任务尽职尽责，通过积极工作最大限度地控制事故危害，为尽快恢复工作创造条件，为人员健康和社会稳定多做贡献。

## 2.3 日常管理组织

领导小组下设工作组，成员如下主要由医务科、放疗科、介入科、放射科、设备科等负责人组成，主要成员为相关的科室工作人员。

主要职责：(1) 负责组织应急准备工作，调度人员，设备，物资等，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；(2) 对放射事故的现场进行组织协调，安排救助，指挥放射事故应急救援行动；(3) 负责向上级行政主管部门报告放射事件应急救援情况；(4) 负责恢复我院正常秩序。

## 2.4 应急处理机构

在应急指挥小组的领导下，成立相应的辐射安全小组，主要包括现场处理小组、现场救护小组和后勤保障小组。

### 2.4.1 现场处理小组主要职责：



(1) 接到放射事故发生的报告后，立即赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，最大限度控制事态发展；

(2) 负责现场警戒，划定紧急隔离区，不让无关人员进入，保护好现场；

(3) 迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告应急指挥中心

(4) 配合上级相关主管部门进行检测和现场处理等各项工作。

#### 2.4.2 现场救护小组主要职责：

(1) 接到指挥小组命令后，迅速赶赴现场；

(2) 现场进行伤员救助，并根据现场情况向指挥小组报告人员损伤情况；

(3) 联系相关临床科室，跟随救治；

(4) 将受伤人员恢复情况随时报指挥小组。

#### 2.4.3 后勤保障小组主要职责：

(1) 接到指挥小组命令后，立即启动应急人员和设施；

(2) 保证水、电供应，交通运输；

(3) 保证食物用餐。

#### 2.5 应急处置程序

我院一旦发生放射事故，必须立即采取措施防止事故继续发生和蔓延扩大危害范围，并在第一时间向我院领导小组报告，同时启动应急指挥系统。

### 第三部分 突发事件的监测、预警与报告

3.1 突发事件的监测：放射性工作场所禁止非本室工作人员停留。

3.2 突发事件的预警：根据发生事件的类型及可能产生的后果，作出判断。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

(1) 特别重大辐射事故：是指射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。

(2) 重大辐射事故：是指射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。

(3) 较大辐射事故：是指射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。

(4) 一般辐射事故：是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。V类放射源为极低危险源。不会对人造成永久性损伤。

### 3.3 突发事件的报告：突发事件的报告，主要包括如下。

(1) 迅速报告。发生事故的单位必须立即将事故的性质、时间、地点上报科主任；科主任立即报告给放射事故应急领导小组办公室（电话：0596-3202065），办公室立即将情况向放射事故应急领导指挥小组汇报，并做好准备。

(2) 现场控制。现场处置小组接到事故发生报告后，立即赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和患者的生命安全，最大限度控制事态发展；负责现场警戒，划定紧急隔离区，不让无关人员进入，保护好现场；迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告应急指挥中心。

(3) 启动应急系统。放射事故应急指挥中心接到现场报告后，立即启动应急指挥系统，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；后勤保障组同时进行物资准备。

(4) 现场报告。根据现场情况，由我院应急指挥中心将事故发生时间，地点，造成事故危害程度和范围及射线装置的名称等主要情况报告相关部门以及上级行政主管部门。

(5) 现场处置。在等待相关部门到达现场的同时，采取相应措施，使危害，损失降到最小。

## 第四部分 应急处理方案

### 4.1 放射诊疗设备突发故障引发辐射事件的处理

(1) 放射诊疗设备突发故障可能引发辐射事件时，应立即关闭设备总电源，



迅速将患者转移到安全地带。立即采取暂时隔离和应急医疗救援措施，尽最大能力减轻放射性意外对人体的危害，保障患者的生命。

(2) 医务人员迅速封锁现场，防止放射范围的扩大。同时立即报告医务科和事故应急处理小组，并上报上级部门。

(3) 辐射事故应急小组专业人员进入事故现场，迅速确定放射性危害程度，采取措施彻底清除放射危害源。

(4) 封锁解除后，组织专人检修设备，保证设备的安全性后再投入使用。

#### 4.2 人员的意外放射性照射

(1) 发现人员受到意外放射性照射后应立即切断辐射源并报告，报告程序为：科主任→医务科→事故应急处理小组→政府主管部门。情况紧急时，现场人员可直接向卫生和生态主管部门报告，同时报告医务科。

(2) 事故应急处理小组在接到报告后立即启动应急预案，小组成员迅速到达事故现场。采取措施对受伤害人员进行紧急护理，配合卫生部门将其送往相关专业医院进行检查和救治。

(3) 医院事故应急处理小组组织相关人员对事故现场采取紧急安全处理措施，配合卫生、生态等部门处理现场，并进行事故调查。

(4) 人员误照或误用放射性药物的应急程序：紧急救助，迅速安排人员接受医学检查或在指定医疗机构救治，同时对危险源采取应急安全处理措施。事故处理完及时写出事故总结报告。

#### 4.3 介入放射事故

介入手术照射时间过长，照射部位可能会出现红斑等症状，发现症状后须立即停止出线，严重时终止手术，进行相应的治疗；当发生射线装置不可控的事故后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开。

介入手术后事故响应与评估流程：

立即响应

停止操作，保存设备剂量记录（时间、剂量值、照射部位）。

报告：通知医院辐射安全负责人，启动应急预案。



快速评估剂量

查设备记录：对比患者/操作者接受的 实际剂量 与安全阈值（皮肤  $>3\text{ Gy}$ ，全身  $>1\text{ Sv}$ ）。

初步处理：

皮肤红斑：冷敷 + 1%氢化可的松软膏。

疑似全身照射：抽血查淋巴细胞计数（24 小时内）。

分级监测

短期（1 周内）：

每日观察皮肤变化（红斑、脱皮）。

每 3 天查血常规（重点关注淋巴细胞）。

长期（3 个月后）：

每年 1 次癌症筛查（甲状腺、乳腺等敏感部位）。

记录与改进

填写《辐射事故报告表》，分析事故原因（设备故障/操作失误）。

加强防护培训，设置设备剂量报警阈值。

事故发生 → 停操作+报备 → 查剂量 → 分情况处理 → 短期监测 → 长期随访

报告程序为：科主任→医务科→事故应急处理小组→政府主管部门。事故处理完及时写出事故总结报告。



## 第五部分 应急保障、人员培训和演练

### 5.1 应急保障

#### 5.1.1 医院应落实辐射安全事故应急所需的装备、器材和资金配备：

- (1) 辐射监测、防护设备和器具：放射性巡检仪、个人剂量仪、防护服、防护眼镜、防护手套等。
- (2) 应急车辆：医院急救车及后勤运输车。
- (3) 安全保卫器材：消防栓、隔离栅、通讯设备。

(4) 应急专项资金：医院应备专项应急资金用于演练器材的消耗、人员的培训，以及处理事故应急支出。

### 5.2 人员培训

医院安全事故相关应急人员须经过培训，培训内容应包括辐射监测仪器、通讯及防护设施的使用和应急预案执行步骤等。

### 5.3 事故应急演练

医院事故应急处理小组须定期组织应急演练，提高辐射事故应急能力，并通过演练逐步完善应急预案。

## 第六部分 辐射事故信息上报

辐射事故责任科室或责任人对发生或可能发生辐射事故及潜在隐患的，须立即向医院辐射事故应急机构报告，并启动本医院辐射事故应急预案，采取必要的防范措施。医院辐射事故应急机构接到报告后，立即初步判断事故级别，尽快将事故情况电话告知市生态环境局，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》（见附录4），向市生态环境局报告。属于特别重大辐射事故、重大辐射事故的，医院辐射事故应急机构应在1小时内报市、区（县）人民政府和市辐射事故应急机构；属于较大辐射事故的，医院辐射事故应急机构应在1小时内报市、区（县）人民和市辐射事故应急机构。情况紧急时，医院也可越级上报。

应急处理电话：

班内时间：医务科（0596-3202065）；

总务科（0596-3202081）；

设备科（0596-3202051）；

班外时间：总值班（0596-3202071）；

福建省生态环境厅辐射安全24小时值班电话：0591-12369；

漳州市生态环境局：0596-2525300；

漳浦县生态环境局：0596-3106266；

社会救援电话：120（医疗）；110（公安）；119（消防）。



## 第七部分 预案管理

### 7.1 应急培训

医院定期安排医务人员报名参加生态环境部门组织的辐射安全与防护培训，取得辐射安全防护培训合格证书才能上岗。另外定期进行内部辐射安全知识的培训和辐射事故/时间应急措施的培训。

### 7.2 演练计划

每年至少开展一次综合或单项的应急演练，应急演练前编制演习计划，包括演练模拟的事故/事件情境、演练参与人员等，并填写记录表，见附录5。

### 7.3 预案修订

如有新项目投运后，机构设置和人员如有变动，应及时对预案进行修订和完善。

附录：

1. 辐射事故应急联系方式
2. 辐射事故应急处理流程图
3. 误照事故应急响应流程图
4. 《辐射事故初始报告表》
5. 《应急演练记录》



附录 1 辐射事故应急联系方式

应急职务	姓名	行政职务	联系方式	职能
组长	黄志武	院长	0596-3202061	全面负责应急管理、处置工作
副组长	方克恒	分管副院长	13806935495	负责收集信息，及时向生态环境部门、公安部门及卫生行政部门上报，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》；同时做好受伤人员及家属的安抚工作；对于需要医学处理和医疗者进行妥善安排
	李小波	副院长	13365917317	
组员	林小周		13605011188	负责辐射工作人员健康防护和辐射事故现场保护；协助上级主管部门调查事故、搜集证据、整理资料并做好记录；对设备维护人员实施监督管理。加强对事故现场的治安维护工作，密切配合并协助上级主管部门做好事故现场的保卫工作，防治现场物资及财产被盗或者丢失，防治辐射事故次生危害
	张晓农		13559652566	
	郑一贤		13605096625	
	许志冬		13607599906	
	赵益发		13960082972	
	许毅霖		13358307888	
	戴仕远		15060506913	
	郭周凯		13960052771	
	许程生		13599670866	
	陈锡章		13709365196	
	陈泽明		13646085688	
	余活泼		13105044299	
	陈达生		13607575534	
	卢幼媚		13960072887	
林崇杰		13959669920		
李文华		18359627100		
戴文华		18065759398		
应急处理电话	班内时间：医务科（0596-3202065）；总务科（0596-3202081）； 设备科（0596-3202051）； 班外时间：总值班（0596-3202071）； 福建省生态环境厅辐射安全 24 小时值班电话：0591-12369； 漳州市生态环境局：0596-2525300； 漳浦县生态环境局：0596-3106266； 社会救援电话：120（医疗）；110（公安）；119（消防）。			

附录2 辐射事故应急处理流程图

放射事故应急处置预案流程图



附录3 误照事故应急响应流程图

射线装置机房发生误照事故应急响应流程图



附录 4

辐射事故初始报告表

事故单位名称		(公章)				
法定代表人		地址			邮编	
电话		传真		联系人		
许可证号		许可证审批机关				
事故发生时间		事故发生地点				
事故类型		人员受照 人员污染		受照人数 受污染人数		
		丢失 被盗 失控		事故源数量		
		放射性污染		污染面积 (m <sup>2</sup> )		
序号	事故源核素名称	出厂活度 (Bq)	出厂日期	放射源编码	事故时活度 (Bq)	非密封放射性物质状态 (固/液态)
序号	射线装置名称	型号	生产厂家	设备编号	所在场所	主要参数
事故经过情况						
报告人签字		报告时间		年 月 日 时 分		



注：射线装置“主要参数”是指 X 射线机的电流 (mA) 和电压 (kV)、加速器线束能量等主要性能参数。

附录 5

应急演练记录

负责人

演练时间	
演练地点	
参加人员	
演练内容	
总结	



记录人:

# 漳浦县医院文件

## 漳浦县医院关于成立辐射安全与防护 管理领导小组成员的通知

各科室：

为进一步加强辐射安全与防护管理，确保辐射工作安全有序进行，经研究决定，成立辐射安全与防护管理领导小组。现将领导小组成员名单及相关职责通知如下：

### 一、辐射安全与防护管理领导小组

#### (一) 组织机构

组 长：黄志武（院长）

副组长：张晓农 李小波 方克恒

组 员：郑一贤 许毅霆 许志冬 陈泽明 戴仕远

郭周凯 赵益发 林崇杰 卢幼媚 陈泽明

陈锡章 余活泼 陈达生 李文华 戴文华

领导小组成员负责本单位辐射安全与防护管理全面工作，安排李文华负责本单位的辐射安全与防护工作。

#### (二) 职责

1. 组织制定并落实辐射安全与防护管理制度；

2. 负责组织辐射工作人员进行相关法律、法规、规章培训教育工作;
3. 制定并落实放射治疗质量保证和控制方案、放射诊断质量保证和控制方案、辐射事件应急预案并组织演练;
4. 领导辐射事件处置并指导报告卫生健康, 生态环境和公安行政等部门。

## 二、辐射安全与防护管理办公室成员

### (一) 组织机构

主任: 许毅霆

副主任: 李文华

成员: 许志冬 陈泽明 陈锡章 郑和荣 刘镇森

### (二) 职责

1. 定期组织对辐射工作场所、设备进行射线防护性能检测, 自主检测以及防护用品管理;
2. 组织辐射工作人员接受专业技术、辐射安全与防护知识培训考核、职业健康检查、个人剂量检测工作;
3. 建立辐射工作人员个人档案并妥善保存;
4. 组织新建、扩建放射建设项目环境影响评价、本案登记;
5. 负责《辐射安全许可证》变更申请和信息维护工作;
6. 在领导小组指导下, 记录发生的辐射事件处置情况并及时报告生态环境部门及卫生行政部门。

漳浦县医院  
2024年11月18日





## 漳浦县医院辐射工作人员培训管理制度

### 放射工作人员培训、体检及保健制度：

一、辐射安全管理小组在院长领导下，实行科主任负责制。实施放射科主任对辐射安全管理小组成员的统一领导和管理。科主任一般由学科带头人、高年资医生担任。

二、技术培训计划：计划对医师实行不同影像学方法的轮转学习，力求全面掌握影像学各种方法，以便发挥综合诊断的优势。鼓励高年资主治医师按人体解剖系统分专业深入钻研培养成某一方面的专家。技术人员实施相对固定，定期轮转，掌握放射科各种设备的操作、使用，实现一专多能；科主任全面管理好各岗位人员的工作，有计划地安排好各级人员的专业培养和提高。

三、辐射培训计划：工作人员准备参加福建省辐射环境监测站组织的放射性同位素与射线装置安全知识的培训；做到每个操作人员都进行培训，加强操作人员的辐射安全教育，增强操作人员在辐射工作岗位的可调节性，做到辐射人员轮流上岗，尽可能



## 漳浦县医院 X 射线装置安全操作规程

### 一、开机

1. 检查制冷设备状态，确保扫描室温度符合要求。
2. 打开设备电源时注意仪器状态、系统自检信息，发现异常时记录相关信息，及时关闭总电源，并报告维修人员。

### 二、操作准备

1. 检查主机的功能状态，磁盘空间(必要时清理)。
2. 检查相关连入设备(图像处理工作站等)的性能、状态。

### 三、接诊操作

1. 按次序输入并核对患者信息，准备开始检查。
2. 接诊病人，关闭检查室的防护门。详细询问患者病史、检查需求，核对患者及检查申请单，确保符合检查适应。
3. 嘱患者出去影响照射部位成像质量的体外衣(异)物。
4. 向患者详细介绍检查方式、过程及注意事项，以取得最大程度的配合。

5. 按要求摆设体位，并训练患者以取得最佳的拍摄效果。

6. 调准射线中心线、照射野，以提高影像质量，减少患者接受的额外辐射。

7. 选择合适的检查部位和照射条件。

(1) 自动曝光。根据接诊病人的摄片要求、部位、体型、年龄选择电离室、KV、mA。

(2) 手动曝光。根据接诊病人的摄片要求、身体状况选择KV、mAS。

8. 曝光时注意仪器的工作状态，发现异常时应停止检查，记录相关信息，及时关闭总电源，并报告维护人员。

9. 待显示影像满足要求后嘱患者按照规定时间取照片和报告

#### 四、关机

结束所有病人的检查后将机器复位至初始状态，并关闭设备电源，填写设备使用日志

#### 五、环境条件

温度：15-24℃ 相对湿度：30%-60% 非照射部位给以适当屏蔽防护，保持设备表面清洁使用中性和清洁剂擦拭设备表面。

漳浦县医院

2021年5月20日



## 漳浦县医院辐射工作人员职业健康管理制度

一、辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。

二、辐射工作单位应当组织上岗后的辐射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。

三、辐射工作人员脱离辐射工作岗位时，辐射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

四、对参加应急处理或者受到意外照射的辐射工作人员，辐射工作单位应当及时组织健康检查或者医疗救治。

五、在收到职业健康检查报告的7日内，如实告知辐射工作人员，并将检查结论记录在《放射工作人员证》中。辐射工作单位对职业健康检查中发现不宜继续从事辐射工作的人员，应当及时调离辐射工作岗位，并妥善安置；对需要复查和医学随访观察的辐射工作人员，应当及时予以安排。

六、不得安排怀孕的妇女参与应急处理和有可能造成职业性内照射的工作。哺乳期妇女在其哺乳期间应当避免接受职业性内照射。

七、为辐射工作人员建立并终生保存职业健康监护档案。辐射工作人员有权查阅、复印本人的职业健康监护档案。辐射工作单位应当如实、无偿提供。



# 漳浦县医院射线装置安全操作规程



## 一、一般安全要求

### 1. 操作者资格要求:

- (1) 操作者必须经过辐射安全防护培训并通过考核;
- (2) 操作者需要通过公司岗位培训考核并取得上岗证书;

2. 操作者定期进行岗位培训及考核, 定期进行安全教育。

## 二、工作前的安全要求

### 1. 劳保用品佩戴:

(1) 工作时工作服、工作帽按要求穿戴整齐; 女员工要求将头发盘在工作帽内;

(2) 工作时要佩戴口罩、手套、个人辐射剂量片等劳动防护用品。

### 2. 设备设施要求:

(1) 开机前用抹布、吸尘器等清洁设备对设备进行清洁保养, 目测设备表面无污垢、金属碎屑等污物;

(2) 开机前手动调节按钮参数升降均匀, 确认按钮开关启动、停止可靠, 设备无异常音;

(3) 检查中发现问题应及时上报，严禁私自开启设备外防护板，严禁设备带故障作业；

(4) 确认个人辐射剂量仪及工作场所内其他辐射监测仪器工作正常，如发现异常及时上报并同时关闭设备，封锁现场。

### 3. 环境条件要求：

(1) 保持场地清洁，道路通畅；

(2) 上料梯整洁完好无油污，确保工作中脚不打滑；

(3) 相关器具、量具、辅料等摆放整齐。

## 三、工作中的安全要求

1. 工作时思想要集中，操作人员必须熟悉工艺规程及设备操作要求；

2. 除必要操作外，禁止靠近、接触测量照射窗口；

3. 随时注意设备运转情况，发现异常要立即停机检查，故障排除前禁止开机；

4. 设备运转故障时，应及时上报，不能擅自处理。

## 四、工作结束的安全要求

1. 将设备累计运转时间、使用电压、使用电流等参数按要求填写设备运行记录表；

2. 按正确的操作顺序关闭设备电源；

3. 清理现场杂物，整理相关器具、量具、辅料等。



# 漳浦县医院辐射防护和安全保卫制度

## 一、辐射防护

1. 辐射工作场所设置辐射警示标志并有“当心电离辐射”的中文注释。

2. 辐射工作场所要划定安全辐射警戒线。

3. 严禁非辐射工作人员进入辐射工作场所，辐射日常监督管理人员应与辐射工作人员做好沟通，确保管理人员在场期间不受照，却有必要在射线运行期间进入辐射工作场所情形的，辐射管理人员也应参照辐射工作人员管理。

4. 辐射工作人员上岗前须进行相关防护专业知识及法律法规培训，考核结束后方可上岗。

5. 工作人员工作时要佩戴个人辐射剂量计及相关防护用品。

6. 辐射日常监督管理人员发现工作人员未按要求佩戴防护用品或未按要求使用监测报警装置，应按照以下程序进行处罚：初犯→警告、再犯→通报罚款、屡教不改→停止辐射现场工作。

7. 辐射工作人员须定期进行健康检查。

8. 设备设置安全锁，钥匙由辐射安全管理人员保管，严禁无故私自开启。

9. 射线装置开工、联动门、工作指示灯，信息同步。

10. 射线装置操作台设置紧急断电停机按钮，当发生突发事件时第一时间关闭电源。

## 二、辐射安全保卫

1. 射线装置场所为安保重点巡查场所，严格按照安保制度加强夜间及节假日巡逻，确保做到防火、防潮、防爆、防盗、的管理目标。

2. 辐射工作人员上班期间，负责辐射管理人员应每间隔一段时间对射线装置工作场所周围环境及无关人员开展巡查，确保无关人员远离警戒区域，对可以人员进行排查，对有肆意破坏场所周报防护的人员进行控制。

3. 下班（包含夜间）及节假日，关闭好门窗锁，检查周围环境及无关人员，检查屋内屋外电源是否关闭。

4. 巡查记录应按照规定表格填写，并留档。

附：射线装置安全保卫巡查表

漳浦县医院

2021年5月20日

附件

### 射线装置安全保卫巡查表

序号	时间	巡查内容			当值巡逻 人员
		门、窗	可疑人员	监控视频	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

## 漳浦县医院设备维修维护制度

### 一、射线装置日常维护及保养

1. 设备的清洁保养。每班两次分别在开机前及关机后用抹布、吸尘器等清洁设备对设备进行清洁保养，目测设备表面无污垢、金属碎屑等污物。

2. 设备状态的维护。每次设备使用完毕后，记录设备累计运转时间、使用电压、使用电流等相关参数；每次开机前对设备进行检查，检查按钮开关启动、停止是否可靠，设备有无异常音。

3. 设备的定期维护。每月一次对电气线路进行检查，目测各线路外观有无破损；使用万用表检测接地、绝缘情况是否良好；每月一次对设备仪表进行检查确保每个仪表均在检验合格周期内。

### 二、防护用品日常维护及保养

1. 每次射线装置使用前检查联动门是否正常，工作指示灯是否正常。



2. 每次射线装置使用前检查监测仪器是否可以使用，电池电量多少。

3. 个人剂量片监测日期是否到达临界。

4. 清点铅防护用品数量，铅防护用品是否有损坏。

5. 辐射监测仪器设备每年校准。

### 三、应对措施

1. 日常维护及保养过程中如发现设备出现故障，应立即停止使用，并邀请专业厂家进行检修，检修后完成后需确认各项指标是否符合要求，严禁设备带病作业。

2. 防护用品损坏或到期应及时补充物资；监测仪器异常或损坏应与设备维保单位联系，及时消除问题。

### 四、规范记录

辐射工作人员应填写《设备维护点检记录表》，并交由辐射管理人员存档保存。

附：设备维护点检记录表



漳浦县医院

2021年5月20日



# 漳浦县医院人员培训计划和监测方案

## 一、人员培训计划

根据有关法律法规要求及生态环境部门的有关规定，组织未通过辐射安全与防护考核合格的辐射工作人员和新进员工学习线上培训课程，上岗前进行自主命题考试。

## 二、个人剂量监测

1. 从事放射职业活动中受到电离辐射的所有人员都必须进行个人剂量监测。包括射线装置使用的辐射工作人员，辐射安全日常管理人员、长时间在辐射工作场所巡查人员，以上人员必须正确佩戴个人剂量计。

2. 剂量计每90天交由辐射安全管理人员回收，并更新剂量计，辐射安全管理人员将回收的剂量计交由有资质的第三方检测单位检测，并要求出具有专业资质的检测报告。

3. 第三方检测报告出具后，辐射安全管理人员应对所有受检人员的剂量情况进行记录，出现剂量较高或超标情况时，应及时

告知有关人员，并停止其一切辐射有关工作，并分析原因。属于辐射事故类型的，应及时上报当地卫生、生态环境部门。

## 二、辐射环境监测

1. 每年委托有资质的第三方检测单位检测对辐射工作场所环境及防护情况进行监测，出具监测报告。辐射安全管理人员在收到报告后，应及时关注是否存在异常数据，并分析原因，妥善处置。

2. 每次辐射工作人员在射线装置开机使用时，应使用单位配备的辐射监测报警仪或辐射环境监测仪对辐射工作场所关键部位（例如：办公桌、观察窗及接口、防护门及接口处等）进行监测，并记录数值填写《日常监测数据记录表》。发现异常数值应及时断电停止射线装置工作，排查分析原因，妥善处置。

附：日常监测数据记录表



漳浦县医院

2021年5月20日







# 检测报告

报告编号: CR-HJ-3520250524-001

委托单位:	漳浦县医院
检测类别:	委托检测
检测时间:	2025年06月27日
检测项目:	辐射环境检测



## 说 明

- 一、 本检测报告仅对现场检测或委托检测来样负责。
- 二、 未经本检验检测机构书面批准，不得复制本检测报告，本检测报告涂改、增删无效。
- 三、 本检测报告无编制、审核、批准人签字或签字不完整无效；未加盖本检验检测机构检验检测专用章、骑缝章无效。
- 四、 本机构检测报告复印件视为无效。
- 五、 委托单位如对本检测报告有异议，可在收到报告之日起 15 日内，提出复核申请，逾期不予受理。
- 六、 本检测报告只适用于其检验检测目的，本检测报告及本检验检测机构名称未经本检验检测机构授权不得用于广告、评优及商品宣传等活动。



地址：宁夏银川市金凤区丰登镇阅海湾中央商务区大连路林带北侧力德财富大厦第 23 层 2303 号  
邮政编码：750016  
电话：0951-5968869



长润安测科技有限公司

检测报告

报告编号: CR-HJ-3520250524-001

共 3 页 第 1 页

委托单位	漳浦县医院		单位地址	福建省漳州市漳浦县城关绥安镇中华路 2 号	
检测位置	拟建教学科研楼及周围		检测日期	2025 年 06 月 27 日	
检测项目	辐射环境检测		检测条件	天气: 晴; 温度: 31℃; 湿度: 75%	
检测和判定依据	HJ 1157—2021《环境γ辐射剂量率测量技术规范》 HJ 61—2021《辐射环境监测技术规范》				
检测仪器信息	设备名称	型号(编号)	技术参数	证书编号	有效期至
	环境级 X、γ剂量率仪	SCB603E (CR-YQ-088)	0.01μGy/h~3Gy/h	DD25J-CA100222	2026 年 05 月 07 日
检测结论	<p>依据相关法律法规及技术标准, 对该单位拟建教学科研楼所在位置及周围环境进行了辐射环境检测, 所测辐射环境检测结果见报告正文。</p> <p>(以下空白)</p>				
其他特殊情况说明					



编制:

总建国

2025年12月12日

审核:

吴明源

2025年12月12日

签发:

肖孔江

2025年12月12日



## 长润安测科技有限公司

### 检测报告

报告编号: CR-HJ-3520250524-001

共 3 页第 2 页

一、检测结果			
检测点位	检测位置	检测结果 (nGy/h)	备注
1	拟建教学科研楼	156.9±3.1	室外
2	拟建教学科研楼	157.4±3.6	室外
3	拟建教学科研楼	152.1±2.9	室外
4	拟建教学科研楼东侧 (院内道路)	157.0±2.6	室外
5	拟建教学科研楼东侧 (综合服务楼)	158.1±3.5	室内
6	拟建教学科研楼东南侧 (绿化带)	153.4±2.8	室外
7	拟建教学科研楼南侧 (院内道路)	155.2±2.6	室外
8	拟建教学科研楼南侧 (住院楼)	158.7±2.9	室内
9	拟建教学科研楼西侧 (院内道路)	156.7±3.6	室外
10	拟建教学科研楼西侧 (儿科楼)	159.6±4.7	室内
11	拟建教学科研楼西南侧 (医疗综合大楼)	157.9±4.8	室内
12	拟建教学科研楼北侧 (山体)	155.0±3.1	室外
13	拟建教学科研楼西北侧 (院外道路)	154.6±3.5	室外
14	拟建教学科研楼东北侧 (院外道路)	154.7±3.3	室外

注: 1、测量时探头距离地面约1m, 每个检测点位测量10个数据取平均值, 以上检测结果均已扣除测量点处宇宙射线响应值;  
2、环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率= $k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times D_c$ , 仪器检定/校准因子  $k_1$  为 1.16, 仪器检验源效率因子  $k_2$  取 1, 仪器测量读数值均值  $R_{\gamma}$ , 屏蔽修正因子  $k_3$  室内按楼房取 0.8、室外按道路取 1; 测量点宇宙射线响应值  $D_c$  为 12.2nGy/h。



## 检测报告

报告编号: CR-HJ-3520250524-001

共 3 页 第 3 页

### 二、检测布点图



检测布点图