

编号：ZFHK-FB23220136

核技术利用建设项目

舟山医院 PET-CT 建设项目

环境影响报告表

(报批稿)

舟山医院

2024年3月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 舟山医院 PET-CT 建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：舟山医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省舟山市定海区定沈路 739 号

邮政编码：316021

联系人

电子邮箱

联系电话

# 目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	13
表 3 非密封放射性物质.....	13
表 4 射线装置.....	14
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	15
表 6 评价依据.....	16
表 7 保护目标与评价标准.....	19
表 8 环境质量和辐射现状.....	23
表 9 项目工程分析与源项.....	32
表 10 辐射安全与防护.....	39
表 11 环境影响分析.....	57
表 12 辐射安全管理.....	78
表 13 结论与建议.....	85
表 14 审批.....	89

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	舟山医院 PET-CT 建设项目				
建设单位	舟山医院				
法人代表	乐涵波	联系人	■	联系电话	■
注册地址	浙江省舟山市定海区定沈路 739 号				
项目建设地点	浙江省舟山市定海区定沈路 739 号 舟山医院新城院区急诊综合大楼地下一层				
立项审批部门	舟山市发展和改革委员会	批准文号	舟发改审批[2023]159 号		
建设项目总投资 (万元)	3920	项目环保投资 (万元)	200	投资比例 (环保投资/总投资)	5.10%
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> )	800
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

**1.1 项目概述**

**1.1.1 建设单位情况**

舟山医院（统一社会信用代码为 12330900472092185H，以下简称“医院”）由舟山市卫生健康委员会批准设立，是一家集医疗、教学、科研、康复、保健于一体的三级甲等综合性医院。医院有 2 个院区，定海院区位于舟山市定海区人民北路 238 号，新城院区位于舟山市定海区定沈路 739 号，本次建设位于新城院区。新城院区占地 235 亩，开放床位 1078 张，开设 23 个病区，28 个专科，年门急诊 944401 人

次，入院 37418 人次，手术 19758 例次。在编职工 1289 名，其中高级职称 288 名，有博士（后）13 名、硕士 111 名，拥有一大批专家教授，有享受国务院特殊津贴专家 3 人，省“151”、“111”人才 22 名，市专业技术拔尖人才（资深）7 名。拥有磁共振、双 64 排螺旋 CT、DSA、直线加速器等大型设备以及全套内窥镜及内窥镜系列等医疗设备。

### 1.1.2 建设目的和任务由来

近年来，随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务质量要求的提高，为促进舟山市城市建设和经济发展的需要，进一步改善当地医疗环境，提高医院知名度，舟山医院计划对新城院区急诊综合大楼地下一层原地下车库部分区域进行改造，建设核医学工作场所及其配套功能用房，新增 1 台 PET/CT，并使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素开展 PET/CT 显像诊断，使用  $^{89}\text{Sr}$  核素开展骨转移癌治疗。

为加强辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保非密封放射性物质和射线装置的使用不对周围环境和公众产生不良影响，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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等的规定，本项目在实施前应进行环境影响评价。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 中的划分标准并经表 10 中非密封放射性物质日等效最大操作量的计算，本项目核医学工作场所非密封放射性核素日等效最大操作量为  $7.44 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于“ $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ ”的范围，为乙级非密封放射性物质工作场所。根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），PET/CT 属于 III 类射线装置。

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—乙级非密封放射性物质工作场所”，环境影响评价类别为编制环境影响报告表。

为此，舟山医院委托中辐环境科技有限公司开展“舟山医院 PET-CT 建设项目（以下简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。评价单位组织相关技术人员进行了现场踏勘、资料收集和辐射环境现状委托监测等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）等规定要求编制了本项目环境影响报告表。

### 1.1.3 项目建设内容和规模

#### (1) 建设内容及规模

舟山医院计划对新城院区急诊综合大楼地下一层原地下车库部分区域进行改造，建设核医学工作场所及其配套功能用房，主要包括储源室、高活室（分装注射室）、候检室及卫生间、VIP 候检室及卫生间、PET/CT 机房、控制室、留观抢救室及卫生间、卫生通过间、废物间、洁具间、患者走廊等核医学工作用房，以及给药前候诊区、给药前卫生间、护士站、问诊室、储藏室、工作人员卫生间、更衣室、主任办公室、医生办公室、护士休息室、茶水间、工具间、工作人员走廊等配套用房。

急诊综合大楼地下一层改造前、后平面布局见附图 4、5。

本项目核医学工作场所内拟建 1 间 PET/CT 机房，机房内新增 1 台 PET/CT（最大管电压 150kV，最大管电流 1300mA，为 III 类射线装置），并使用  $^{18}\text{F}$  核素开展 PET/CT 显像诊断，每周开展 5 天，每天最多诊断 25 人，每人最大用量为  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），则  $^{18}\text{F}$  核素的日最大操作量为  $9.25 \times 10^9 \text{Bq}$ ；使用  $^{68}\text{Ga}$  核素开展 PET/CT 显像诊断，每周开展 5 天，每天最多诊断 5 人，每人最大用量为  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），则  $^{68}\text{Ga}$  核素的日最大操作量为  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

由于核医学工作场所使用  $^{18}\text{F}$  和  $^{68}\text{Ga}$  核素半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射的含  $^{18}\text{F}$  和  $^{68}\text{Ga}$  核素的放射性药物量为 10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量，本项目拟暂定一天送 2 次药（上午、下午各 1 次），按照日用药量的 2 倍进行备药，则  $^{18}\text{F}$  和  $^{68}\text{Ga}$  核素的备药量分别为  $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$  和  $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

使用  $^{89}\text{Sr}$  核素开展骨转移癌治疗，每周开展 1 天，一天最多治疗 3 人，每人最大用量为  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ （4mCi），则  $^{89}\text{Sr}$  核素的日最大操作量为  $4.44 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

本项目核医学工作场所新增 1 台 PET/CT 设备情况和新增非密封放射性物质使用情况见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 新增 1 台 PET/CT 设备情况

序号	名称	型号	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所	用途
1	PET/CT	待定	III类	1	150	1300	急诊综合大楼地下一层核医学工作场所 PET/CT 机房	PET/CT 显像诊断

注：本项目 PET/CT 设备拟配置校准源，为 V 类放射源，校准源枚数及活度暂未确定，因此本次不进行评价。待确定校准源枚数及活度后，在校准源购买前建设单位将填报环境影响登记表，并在辐射安全许可证上进行登记。

**表 1-2 新增非密封放射性物质使用情况**

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	场所等级	使用场所	用途
1	<sup>18</sup> F	9.25×10 <sup>9</sup>	4.63×10 <sup>12</sup>	乙级	急诊综合大楼地下一层核医学工作场所	PET/CT 显像诊断
		1.85×10 <sup>10</sup>				备药
2	<sup>68</sup> Ga	1.85×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>11</sup>			PET/CT 显像诊断
		3.7×10 <sup>9</sup>				备药
3	<sup>89</sup> Sr	4.44×10 <sup>8</sup>	2.22×10 <sup>10</sup>			骨转移癌治疗

本项目放射性核素均通过外购获得，建设单位应做到：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

**(2) 人员配备和工作负荷**

本项目核医学工作场所拟配备辐射工作人员共 7 名，均为新聘人员。其中配备医生 2 人，负责接诊、显像诊断、阅片、抢救病人等；技师 2 人，负责设备操作与摆位；护士 3 人，其中 2 人负责放射性药物的分装、测活和注射，1 人在注射前等候区负责预约登记，3 人轮岗。

本项目核医学工作场所拟配备辐射工作人员情况见表 1-3。

**表 1-3 拟配备辐射工作人员情况**

工作场所	岗位	人数	工作内容	备注
核医学工作场所	医生	2 人	接诊、显像诊断、阅片、抢救病人	独立人员且不与其他诊疗项目人员交叉使用
	技师	2 人	负责设备操作与摆位	
	护士	3 人	负责放射性药物的分装、测活和注射	
在注射前等候区负责预约登记				

本项目核医学工作场所拟配备的辐射工作人员均实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天。本项目辐射工作人员均不存在兼职其他辐射工作场所岗位情况。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），本项目新增辐射工作人员应参加国家核技术利用辐射安全与培

训平台集中考核，考核合格后方可上岗。

## 1.2 项目选址及周边环境保护目标

### 1.2.1 项目地理位置

舟山医院新城院区位于舟山市定海区定沈路 739 号，项目地理位置见附图 1。医院东临怡岛路，隔路为中央花城小区、舟山第二小学和舟山第一初级中学；南临定沈路，隔路为邦泰城小区、华润万家和领域故事花园小区；西临体育路，隔路为宝龙广场和海上明月府小区；北侧为舟山市行政中心楼、舟山市疾病预防控制中心、舟山市中心血站和翁山路。周边环境关系见附图 2。

### 1.2.2 项目周边环境关系

#### (1) 项目工作场所与外部建筑环境关系

本项目核医学工作场所位于医院新城院区急诊综合大楼（地上共 4 层，地下共 1 层）地下一层。急诊综合大楼东侧为院内绿地和停车场，距离本项目核医学工作场所实体边界最近约 30m 和 50m；南侧为门诊楼，距离本项目核医学工作场所实体边界最近约 14m；西侧为医技楼，距离本项目核医学工作场所实体边界最近约 15m；北侧为病房楼，距离本项目核医学工作场所实体边界最近约 30m。

#### (2) 项目工作场所四至环境关系

本项目核医学工作场所东侧为工作人员走廊，走廊往东为土层，南侧为工作人员走廊和储藏室，西侧为过道和设备机房区域，北侧为患者出口走廊、家属等待间、无障碍通道、给药前卫生间、给药前候诊区和问诊室，上方为急诊科用房，下方为土层。核医学工作场所平面布局见附图 5，核医学工作场所上方楼层平面布局见附图 6。

### 1.2.3 相关规划符合性及选址合理性分析

#### (1) 与《舟山群岛（新区）城市总体规划（2012-2030 年）》符合性分析

根据《舟山群岛（新区）城市总体规划（2012-2030 年）》，舟山市坚持“一体一圈五岛群”的空间布局，延续“一主三副六重点”的空间结构。一主即中心城区，三个副中心城镇分别为岱山县镇、嵊泗县城和六横镇，六个重点镇分别为金塘镇、洋山镇、衢山镇、长涂镇、桃花镇和嵊山镇。本项目位于定海区定沈路 739 号，属于规划中的主城，主城以疏解人口、降低居住密度为重点，增加公共开敞空间及公共服务设施配套，推进城中村改造、危房改造，提升居住环境品质。



本项目为医疗服务项目，功能上与舟山群岛（新区）紧密相关，项目建成后可为该区域提供较好的医疗卫生服务，可方便人民享受便利的基本公共服务，有利于促进社会服务、基础设施建设等城市功能的建设完善，符合《舟山群岛（新区）城市总体规划（2012-2030年）》要求。

### **（2）土地利用规划符合性分析**

根据医院提供的《中华人民共和国国有土地使用证》（舟国用（2008）第0201715号），医院所在地用地性质为医卫慈善用地。本项目为医疗服务项目，且在急诊综合大楼内进行建设，用地性质符合土地利用规划。《中华人民共和国国有土地使用证》见附件5。

### **（3）污染物达标排放符合性分析**

经下文辐射环境影响分析，本项目运营过程中产生的电离辐射和放射性三废经采取一定的辐射防护和治理措施后，对周围环境与公众人员健康的辐射影响是可接受的，可以做到达标排放。

### **（4）选址合理性分析**

本项目为核技术利用项目，辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外50m评价范围内主要为医院内部建筑物、院内道路、绿地和停车场，无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。因此，本项目的选址是合理的。

## **1.3 产业政策符合性分析**

根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目核医学工作场所属于第六项“核能”中第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与检测设备制造”，为国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

## **1.4 实践正当性分析**

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，本项目的实践是必要的。

医院在放射诊疗过程中，对放射性核素和射线装置的使用场所采取满足相关标准要求的辐射安全防护措施，对放射性核素和射线装置的安全管理将建立相应的操作规程和辐射安全规章制度。因此，在正确使用和管理放射性核素和射线装置的情

况下，可以将项目辐射产生的影响降至尽可能小。

本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，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。

### **1.5 与《舟山市“三线一单”生态环境分区管控方案》符合性分析**

根据《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150号），要求强化“三线一单”的约束作用，建立“三挂钩”机制，“三管齐下”切实维护群众的环境权益。“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。

#### **（1）生态保护红线**

生态保护红线是生态空间范围内具有特殊重要生态功能必须实行强制性严格保护的区域。本项目位于舟山市定海区定沈路739号，根据《舟山市“三线一单”生态环境分区管控方案》和舟山市“三区三线图”，项目所在地属于“浙江省舟山市定海区临城街道城镇生活重点管控单元”，属于城镇生活重点管控单元，环境管控单元编码为ZH33090220059，不涉及舟山市生态保护红线。

#### **（2）环境质量底线**

根据辐射环境现状监测结果，本项目拟建场址及周围各监测点位的 $\gamma$ 辐射剂量率基本处于当地本底水平范围之内； $\beta$ 表面污染未见异常。在落实本报告提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，不会突破当地环境质量底线。

#### **（3）资源利用上线**

本项目主要水源为自来水，由市政自来水管网供给，占比量较小，市政自来水管网有能力为本项目提供水资源保障；本项目主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网，且利用效率高。总体而言，符合资源利用上线的要求。

#### **（4）环境准入清单**

根据《舟山市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于“浙江省舟山市定海区临城街道城镇生活重点管控单元”（ZH33090220059），舟山市环境管控分区见附图15。浙江省舟山市定海区临城街道城镇生活重点管控单元环境准入清单符合性分析见表1-4。

表 1-4 浙江省舟山市定海区临城街道城镇生活重点管控单元环境准入清单符合性分析

环境管控单元名称	管控要求		符合性分析
浙江省舟山市定海区临城街道城镇生活重点管控单元	空间布局约束	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目，现有二类工业项目改建、扩建，不得增加控制单元污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定。推进城镇绿廊建设，建立城镇生态空间与区域生态空间的有机联系。	本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目。项目位于舟山医院新城院区内，与居住区之间有明显的界线，且在医院四周建设绿化带。符合空间布局约束要求。
	污染物排放管控	严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河（或湖或海）排污口，现有的入河（或湖或海）排污口应限期拆除，但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，推进生活小区“零直排”区建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管。加强土壤和地下水污染防治与修复。	本项目为医院核技术利用项目，不涉及工业污染物总量排放。项目产生的放射性废气、废液及固体废物经衰变、处理达标后排放，符合污染物排放管控要求。
	环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目不属于工业项目，不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目，符合要求。
	资源开发效率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水，到 2020 年，县级以上城市公共供水管网漏损率控制在 10% 以内。	本项目不属于高耗水服务业，符合要求。

由上表可知，本项目为医院核技术利用项目，项目的实施符合“浙江省舟山市定海区临城街道城镇生活重点管控单元”中相关管控措施要求。

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、不会突破环境质量底线和资源利用上线、符合环境准入清单内管控措施要求，因此，本项目的建设符合《舟山市“三线一单”生态环境分区管控方案》要求。

### 1.7 与舟山市“三区三线”符合性分析

根据《自然资源部、生态环境部、国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发[2022]142 号）要求：“生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生

产性建设活动。”项目建设不涉及生态保护红线，符合管理要求。

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函[2022]2080号），将“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海组卷报批的依据。其中“三区”具体指农业空间、生态空间、城镇空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。

经对照舟山市“三区三线”图（附图16），本项目位于舟山市定海区定沈路739号（舟山医院新城院区内），为城镇开发边界内，且不涉及永久基本农田与生态保护红线，因此，本项目建设符合舟山市“三区三线”要求。

## 1.8 原有核技术利用项目情况

### 1.8.1 原有核技术利用项目许可情况

舟山医院现持有舟山市生态环境局颁发的辐射安全许可证（见附件4），证书编号为：浙环辐证[L2156]；发证日期：2023年09月26日，有效期至：2028年09月25日；许可的辐射工作种类和范围为：使用II类、III类射线装置。

医院已许可核技术利用项目环保手续履行见表1-5。

表 1-5 医院已许可核技术利用项目环保手续履行情况

序号	装置名称	规格型号	类别	工作场所	环评手续履行情况
1	DSA	Allura Xper FD20	II	放射诊断中心 1号 DSA 机房	舟环辐审[2014]3号；舟 环辐验[2016]3号
2	DSA	INAINIX	II	放射诊断中心 2号 DSA 机房	舟环辐审[2014]3号；正 在组织竣工验收
3	车载 X 射线计算 机体层摄影设备	Insitum64S	III 类	核酸基地 CT 车	备案号： 20233309020000050
4	X 射线计算机体 层摄影设备	uCT528	III 类	方舱 CT 机房	备案号： 20233309020000050
5	医用直线加速器	PVINUIS-M	II	妇女儿童医院 放疗科	设备于 2000 年 12 月投 入使用，已申领辐射安 全许可证，设备使用地 点、场所均未改变
6	模拟定位机	kxo-50N	III	妇女儿童医院 放疗科	
7	肠胃机	D-VISION PLUS 80S	III	放射诊断中心 4号机房	备案号： 20213309020000028
8	肠胃机	Winscope plessart EX8	III	放射诊断中心 5号机房	备案号： 20213309020000028
9	碎石机	HK.ESWL-V	III	放射诊断中心 碎石机房	备案号： 20213309020000028
10	摄影 X 射线机	GFS802-4	III	放射诊断中心 1号机房	备案号： 202333090200000109

11	双能 X 射线骨密度仪	PROMUS		放射诊断中心机房	备案号: 202433090200000014
12	G 型臂 X 线机	D-VISION 9000	III	手术室	备案号: 202133090200000028
13	C 臂机	OEC Fluorostar	III	住院三楼手术室 9 号手术间	备案号: 202133090200000028
14	C 臂机	BV Libra	III	移动使用 (放手术室)	备案号: 202133090200000028
15	移动 DR	SPS-HF4.0-D	III	移动使用 (放手术室)	备案号: 202133090200000028
16	移动 X 线机	Mux-10J	III	移动使用 (放射科)	备案号: 202133090200000028
17	移动 DR	Mux-200D	III	移动使用 (放射科)	备案号: 202133090200000028
18	移动式数字化医用 X 射线摄影系统	uDR 370i	III	放射诊断中心	备案号: 202433090200000014
19	数字乳腺机	AMULETFDR MS-1000	III	放射诊断中心 3 号机房	备案号: 202133090200000028
20	DR	RAD SPEEDM	III	放射诊断中心 2 号机房	备案号: 202133090200000028
21	X 射线计算机体层摄影设备	Optima CT540	III	感染楼 CT	备案号: 202133090200000028
22	后 64 排 CT	RevolutionCT	III	放射诊断中心 CT3 室	备案号: 202133090200000028
23	CT	Aquilion TSX-101A	III	放射诊断中心 2 号 CT 机房	备案号: 202133090200000028
24	口腔 CT	3DeXami	III	放射诊断中心口腔 CT 机房	备案号: 202133090200000028
25	X 射线计算机体层摄影设备	Optima CT540	III	感染楼一楼	备案号: 202133090200000028
26	牙片机	BLUEX (INTRAOS70)	III	门诊三楼口腔科	备案号: 202133090200000028
27	双能 X 射线骨密度仪	DeXa Pro-1		体检楼三楼机房	备案号: 202333090200000050
28	DR	Digital Diagnost	III	体检楼 DR 机房	备案号: 202333090200000038
29	X 射线计算机断层摄影设备	16 排 LIGHTSPEED	III	体检楼 CT	备案号: 202133090200000028
30	数字化厢式 X 射线机	AKHX-55H-RAD	III	体检车厢式	备案号: 202133090200000028
31	移动式数字化医用 x 射线摄影系统	Mobieye 700T	III	手术室移动 DR	备案号: 202133090200000028
32	DSA	Artis zee III ceiling	II	住院楼三楼手术室	舟环辐审[2023]2 号; 正在组织竣工验收

## 1.8.2 原有核技术利用项目管理情况

### (1) 辐射安全与环境保护管理机构与辐射安全管理规章制度情况

医院已成立了放射管理委员会，并制定了《放射（辐射）安全管理制度》、《放射（辐射）防护和安全保卫制度》、《放射从业人员检测管理制度》、《放射防护用品管理制度》、《放射防护培训制度》、《个人剂量监测制度》、《放射诊疗场所放射防护检测与评价制度》、《放射诊疗中心仪器设备使用、维护管理制度》、《放射诊断岗位职责》等规章制度。

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

### (2) 辐射安全与防护考核情况

医院严格执行辐射工作人员培训制度，现有 206 名辐射工作人员，其中使用Ⅱ类射线装置的辐射工作人员均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台集中考核或由浙江卫生监督协会组织的放射诊疗考核，考核合格且成绩均在有效期内；使用Ⅲ类射线装置的辐射工作人员均参加了医院自行组织的培训考核，并考核合格。

### (3) 职业健康检查情况

医院已为现有辐射工作人员建有职业健康监护档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行了职业健康检查，在岗期间检查周期不超过 2 年。医院现有辐射工作人员均于 2023 年 1 月~12 月进行了在岗期间的职业健康检查。根据医院提供的职业健康检查报告，现有辐射工作人员均可继续从事放射岗位工作。

### (4) 个人剂量检测情况

医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并每三个月委托浙江疾病预防控制中心进行个人剂量检测，并建立个人剂量检测档案。根据医院提供的现有辐射工作人员最近连续四个季度个人剂量检测报告（见附件 11），全院辐射工作人员年累计受照剂量检测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中职业人员受照不超过 5mSv 的剂量限值要求。

### (5) 辐射工作场所管理情况

医院现有辐射工作场所均采取了符合标准要求的屏蔽防护措施，设置有电离辐

射警告标志和工作状态指示灯并与防护门联锁。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据医院提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

#### **(6) 辐射事故应急和年度评估情况**

医院已制定了《放射事故应急处理预案》，医院每年及时进行完善和修订应急预案。经与医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院严格执行年度评估制度，每年编制辐射安全与防护状况年度评估报告，对现有辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、使用台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

## 表 2 放射源

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

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

## 表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	<sup>18</sup> F	液态/低毒半衰期 109.8min	使用	9.25×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>6</sup>	4.63×10 <sup>12</sup>	PET/CT 显像诊断	很简单操作	舟山医院新城 院区急诊综合 大楼地下一层 核医学工作场 所	根据实际用量向有 资质单位购买（现买 现用），购买后的放 射性药物连同铅罐包 装分别放置于核医学 工作场所储源室，设 双人双锁管理。
				1.85×10 <sup>10</sup>	1.85×10 <sup>6</sup>		备药	贮存		
2	<sup>68</sup> Ga	液态/低毒/半衰期68.3min	使用	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>7</sup>	9.25×10 <sup>11</sup>	PET/CT 显像诊断	简单操作		
				3.7×10 <sup>9</sup>	3.7×10 <sup>5</sup>		备药	贮存		
3	<sup>89</sup> Sr	液态/中毒/半衰期 50.53d	使用	4.44×10 <sup>8</sup>	4.44×10 <sup>7</sup>	2.22×10 <sup>10</sup>	骨转移癌治疗	简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。



## 表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III类	1	待定	150	1300	PET/CT 显像诊断	急诊综合大楼地下一层核医学工作场所 PET/CT 机房	新购

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废液	液态	<sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga	/	/	80m <sup>3</sup> /a	/	暂存于 3 个并联衰变池中，每个衰变池有效容积 4.4m <sup>3</sup> ，总有效容积为 13.2m <sup>3</sup>	通过专门管道统一收集至衰变池内，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放，排入医院污水处理系统进一步处理。
放射性废气	气态	<sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga	/	/	/	/	经活性炭过滤后，最终高出急诊综合楼屋顶排放	
放射性固废	固态	<sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga、 <sup>89</sup> Sr	/	/	592.5kg/a	β 表面污染 ≤0.8Bq/cm <sup>2</sup>	高活室内设 2 个手推旋式铅桶，候检室、VIP 候检室和留观抢救室内各设 1 个手推旋式铅桶，废物间设置 3 个衰变箱，产生的放射性固废收集于铅桶内专用塑料包装袋，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破损，及时转运暂存于废物间的衰变箱，不同类别废物应分开存放	含 <sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天后，含 <sup>89</sup> Sr 核素的放射性固废暂存时间超过半衰期的 10 倍（506 天）后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm <sup>2</sup> 、β 表面污染小于 0.8Bq/cm <sup>2</sup> ，可对其清洁解控并作为医疗废物处理。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/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》(1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过; 2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订), 中华人民共和国主席令 9 号, 2015 年 1 月 1 日施行修订版;</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2002 年 10 月 28 日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过, 自 2003 年 9 月 1 日起施行; 2016 年 7 月 2 日第一次修订; 2018 年 12 月 29 日第二次修订), 中华人民共和国主席令 48 号, 2018 年 12 月 29 日施行修订版;</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 6 月 28 日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过), 中华人民共和国主席令第六号, 2003 年 10 月 1 日施行;</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令 253 号发布施行; 2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院令 682 号令修订), 自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版;</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》, (2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令 449 号公布, 2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令 653 号修订, 2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令 709 号修订), 自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版;</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令 31 号公布, 2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 3 号修正, 2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 47 号修正, 2019 年 7 月 11 日经生态环境部令 7 号修改, 2020 年 12 月 25 日经生态环境部令 20 号修改), 2021 年 1 月 4 日施行修改版;</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2011 年 4 月 18 日环境保护部令 18 号), 自 2011 年 5 月 1 日起施行;</p> <p>(8) 《放射性废物安全管理条例》(2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令 612 号公布), 自 2012 年 3 月 1 日起施行;</p> <p>(9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》(环境保护部 国家卫生和计</p>
-------------	--

划生育委员会 公告 2017 年第 66 号), 自 2017 年 12 月 5 日起施行;

(10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年第 65 号), 自 2018 年 1 月 1 日起施行;

(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(中华人民共和国生态环境部令第 16 号), 自 2021 年 1 月 1 日起施行;

(12) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(2023 年 12 月 31 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布, 自 2024 年 2 月 1 日起施行;

(13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号), 自 2020 年 1 月 1 日起施行;

(14) 《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), 自 2021 年 3 月 15 日起施行;

(15) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评[2017]4 号), 自 2017 年 11 月 20 日起施行;

(16) 《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), 自 2006 年 9 月 26 日起施行。

(17) 《医疗废物管理条例》(2003 年 6 月 16 日中华人民共和国国务院令 380 号公布, 根据 2011 年 1 月 8 日中华人民共和国国务院令 588 号修订), 自 2011 年 1 月 8 日实施修订版;

(18) 《国家危险废物名录(2021 年版)》(2020 年 11 月 25 日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 15 号公布), 2021 年 1 月 1 日起施行;

(19) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布, 2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号第一次修正, 2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布第二次修正, 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布第三次修正), 自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版;

(20) 《浙江省辐射环境管理办法》(2011 年 12 月 18 日浙江省人民政

	<p>府令第 289 号公布，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版；</p> <p>(21)《关于印发&lt;舟山市生态环境局市本级审批环境影响评价文件的建设项目清单（2023 年本）&gt;的通知》（舟环发[2023]17 号），自 2023 年 9 月 9 日起施行。</p>
技术标准	<p>(1)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2)《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>(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)《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(6)《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(7)《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(8)《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）；</p> <p>(9)《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；</p> <p>(10)《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）；</p> <p>(11)《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；</p> <p>(12)《医疗、工业、农业、研究和教学中产生的放射性废物管理》（HAD 401/16-2023）。</p>
其他	<p>(1)《辐射防护手册》（第一分册），李德平、潘自强主编；</p> <p>(2)《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强主编；</p> <p>(3)《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编；</p> <p>(4)《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫；</p> <p>(5) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料；</p> <p>(6) 环评委托书。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据本项目的实际情况，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，本项目辐射环境评价范围取拟建辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外 50m 范围。

### 7.2 保护目标

根据现场踏勘情况，本项目核医学工作场所和衰变池实体（屏蔽物）边界外 50m 范围主要为医院内部建筑物（门诊楼、医技楼、病房楼）、院内道路、绿地和停车场，无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点，评价范围示意详见附图 3、4。

本项目环境保护目标为评价范围内从事本项目辐射工作的职业人员及评价范围内活动的其他公众。本项目环境保护目标一览见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览

环境保护目标	方位	距离本项目实体边界最近距离	规模	人员类别	年剂量约束值
核医学工作场所内辐射工作人员	内部	/	7 人	职业人员	5mSv
工作人员走廊	东侧	紧邻	流动人员	公众	0.1mSv
工作人员走廊	南侧	紧邻	流动人员	公众	
储藏室		紧邻	一般无人员居留	公众	
过道及设备机房区域	西侧	紧邻	一般无人员居留	公众	
患者出口走廊	北侧	紧邻	流动人员	公众	
家属等待间		紧邻	流动人员	公众	
无障碍通道		紧邻	流动人员	公众	
给药前候诊区		紧邻	30 人	公众	
急诊科用房（急诊大厅、护理站、医护办公室、药房等）	上方	紧邻	30 人	公众	
停车场	东侧	50m	流动人员	公众	
门诊楼	南侧	14m	150 人	公众	
医技楼	西侧	15m	100 人	公众	
病房楼	北侧	30m	300 人	公众	
核医学工作场所和衰变池实体边界外 50m 范围内其它公众	/	0~50m	流动人员	公众	

注：本项目核医学工作场所位于急诊综合大楼地下一层，对于外部建筑物“距离本项目实体边界最近距离”的选取均按照水平距离保守考虑。

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定，工作人员的\*\*职业照射\*\*和\*\*公众照射\*\*的剂量限值如下：

#### （1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

1) 审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

2) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

3) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

4) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

#### （2）公众照射

实践使公众中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：

1) 年有效剂量，1mSv；

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

### 7.3.2 剂量约束值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求：

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。

同时根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，剂量约束值通常应在公众照射剂量限值的 10%-30% 范围之内。

综上所述，本次评价以职业照射剂量限值的 1/4 即不超过 5mSv 作为职业照射的年剂量约束值；以公众照射剂量限值的 1/10 即不超过 0.1mSv 作为公众照射的年剂量约束值。

### 7.3.3 非密封放射性物质工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）附录 C 中的相

关规定，本项目非密封放射性物质工作场所的分级见表 7-2。

表 7-2 非密封放射性物质工作场所的分级

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

### 7.3.4 辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关规定，本项目核医学工作场所辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平详见表 7-2。

表 7-3 核医学工作场所辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
核医学工作场所	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处	2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处	2.5（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）
		10（人员居留因子 $< 1/2$ ）
	放射性药物分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5
	放射性药物分装的箱体非正对人员操作位表面	25
固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处	2.5	

### 7.3.5 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB 18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）相关规定，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平详见表 7-3。

表 7-4 核医学工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		$\beta$ 放射性物质 ( $\text{Bq/cm}^2$ )
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	$4 \times 10$
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-1}$



### 7.3.6 放射性废液排放

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废液排放满足以下要求：

#### 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。

### 7.3.7 放射性固废处理

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

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 小时的放射性固废暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。

### 7.3.8 核医学工作场所密闭和通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关规定，核医学工作场所通风要求如下：

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。

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

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

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

舟山医院新城院区位于舟山市定海区定沈路 739 号，项目地理位置见附图 1。本项目核医学工作场所位于医院新城院区急诊综合大楼地下一层，核医学工作场所所在位置见附图 3。

### 8.2 环境电离辐射水平现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2022 年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。环境  $\gamma$  辐射剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和千岛湖中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

### 8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

#### 8.3.1 环境现状评价的对象

拟建辐射项目区域及周边环境

#### 8.3.2 监测因子

$\gamma$  辐射剂量率、 $\beta$  表面污染

#### 8.3.3 监测点位

由于本项目拟建的核医学工作场所尚未开始建设，环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在项目拟建区域内均匀布设监测点，并在区域边界、周围环境状况不一致及评价范围内关注的区域布设监测点。

具体监测点位示意图 8-1~3，监测点位情况见表 8-1~2。

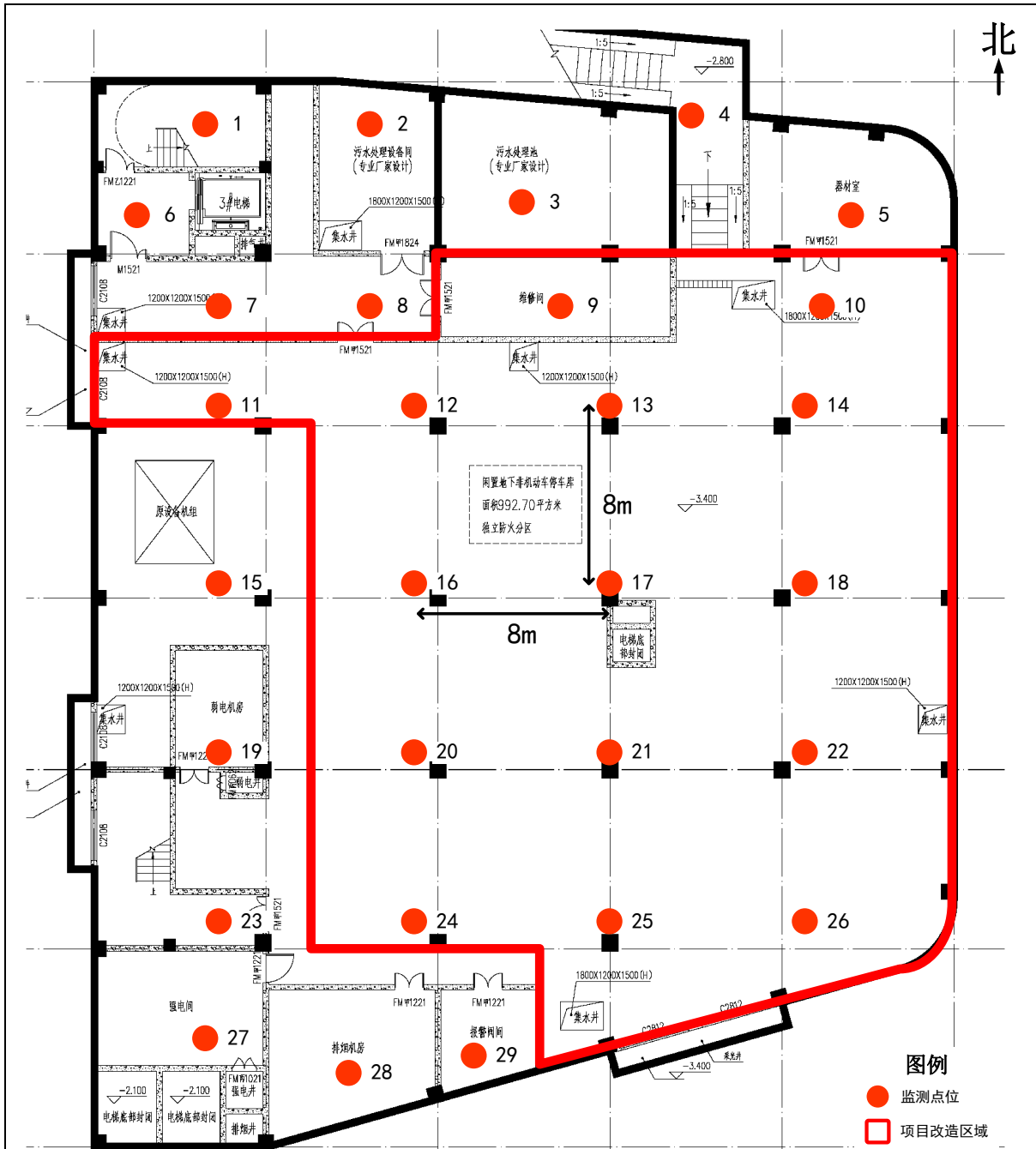


图 8-1 监测点位示意图 1



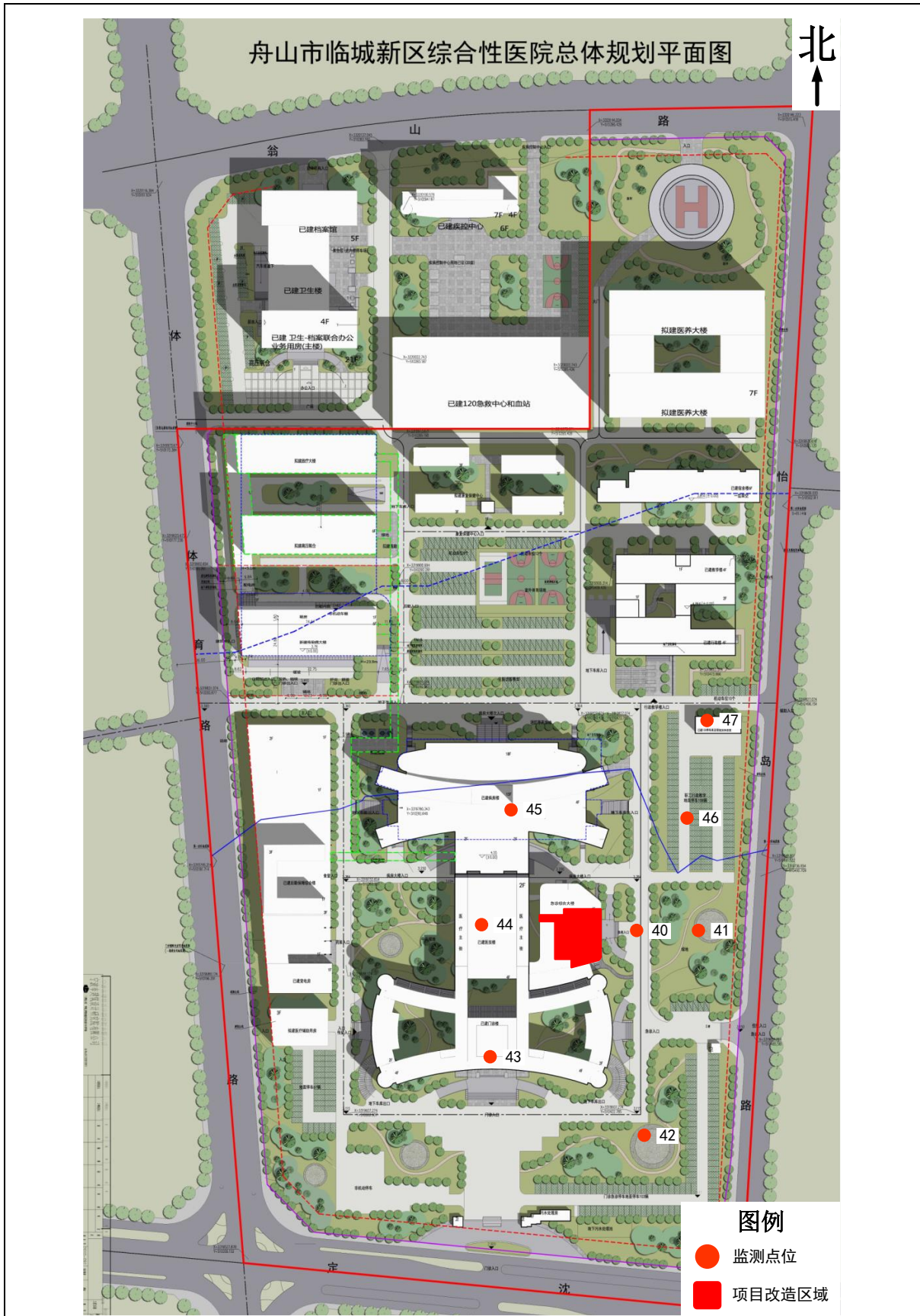


图 8-3 监测点位示意图 3

## 8.4 监测方案、质量保证措施和监测结果

### 8.4.1 监测方案

(1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

(2) 监测日期：2023年12月13日

(3) 监测条件：温度 9°C，相对湿度 48%，晴

(4) 监测依据：

《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)

《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)

《表面污染测定 第 1 部分： $\beta$  发射体 ( $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ) 和  $\alpha$  发射体》(GB/T 14056.1-2008)

(5) 监测频次：依据相关标准予以确定

(6) 监测仪器：见下表

表 8-1 便携式 X、 $\gamma$  辐射周围剂量当量率仪相关参数

仪器型号	FH40G-L10+FHZ672E-10
仪器名称	便携式 X、 $\gamma$ 辐射周围剂量当量率仪
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035404
能量范围	40KeV~4.4MeV
测量范围	主机：10nSv/h~100mSv/h；探头：1nSv/h~100 $\mu$ Sv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2023H21-10-4416128002
校准有效期	2023年2月17日~2024年2月16日

表 8-2  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染仪相关参数

仪器型号	CoMo 170
仪器名称	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪
生产厂家	S.E.A
仪器编号	05034173
探测器灵敏窗面积	170cm <sup>2</sup>
探测器本底	$\alpha$ : 0.1CPS； $\beta$ : 15~25CPS
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
检定证书	2023H21-20-4800449001

检定有效期

2023年09月04日~2024年09月03日

### 8.4.2 质量保证措施

(1) 本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定计量认证证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，证书编号为 22112050970，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

(2) 采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

(4) 监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

(5) 报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

### 8.4.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-3~4。

表 8-3 本项目  $\gamma$  辐射剂量率现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	楼梯间	131±2	室内
2#	污水处理设备间	119±1	室内
3#	污水处理池	118±1	室内
4#	急诊综合大楼北侧出入口	132±1	室内
5#	器材室	112±2	室内
6#	电梯间	120±1	室内
7#	走廊 1 号点位	126±1	室内
8#	走廊 2 号点位	125±2	室内
9#	项目所在区域点位 1 (现维修间)	124±1	室内
10#	项目所在区域点位 2	126±2	室内
11#	项目所在区域点位 3	120±1	室内
12#	项目所在区域点位 4	127±2	室内
13#	项目所在区域点位 5	131±2	室内
14#	项目所在区域点位 6	130±1	室内

15#	项目所在区域周围点位 1	128±2	室内
16#	项目所在区域点位 7	127±1	室内
17#	项目所在区域点位 8	128±1	室内
18#	项目所在区域点位 9	124±2	室内
19#	弱电机房	123±2	室内
20#	项目所在区域点位 10	122±2	室内
21#	项目所在区域点位 11	119±1	室内
22#	项目所在区域点位 12	120±2	室内
23#	项目所在区域周围点位 2	130±2	室内
24#	项目所在区域点位 13	126±3	室内
25#	项目所在区域点位 14	116±2	室内
26#	项目所在区域点位 15	110±1	室内
27#	强电间	137±2	室内
28#	排烟机房	134±1	室内
29#	报警阀间	131±1	室内
30#	项目所在区域上方抢救室	124±2	室内
31#	项目所在区域上方复苏病房	121±2	室内
32#	项目所在区域上方中心护理站	126±2	室内
33#	项目所在区域上方医护办公室	116±2	室内
34#	项目所在区域上方药房	128±2	室内
35#	项目所在区域上方候诊区	126±2	室内
36#	项目所在区域上方诊疗室点位 1	121±2	室内
37#	项目所在区域上方诊疗室点位 2	117±1	室内
38#	项目所在区域上方等候区点位 1	110±1	室内
39#	项目所在区域上方等候区点位 2	121±1	室内
40#	急诊综合大楼急诊入口	97±2	室外
41#	急诊综合大楼东侧绿地	102±1	室外
42#	急诊综合大楼南侧绿地	100±1	室外
43#	门诊楼	124±2	室内
44#	医技楼	163±2	室内
45#	病房楼	118±1	室内
46#	停车场	97±3	室外
47#	驾驶员休息室	103±1	室内



注：1、测量时探头距离地面约 1m；  
 2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；  
 3、环境  $\gamma$  辐射剂量率=读数平均值×校准因子  $k_1$ ×仪器检验源效率因子  $k_2$ ÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子  $k_3$ ×测量点宇宙射线响应值  $D_c$ ，校准因子  $k_1$  为 1.19，仪器使用  $^{137}\text{Cs}$  进行校准，效率因子  $k_2$  取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， $k_3$  楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 9nGy/h。

**表 8-4 本项目  $\beta$  表面污染现状监测结果**

监测点编号	监测点位置	监测结果 (Bq/cm <sup>2</sup> )	备注
1#	楼梯间	<0.06	室内
2#	污水处理设备间	<0.06	室内
3#	污水处理池	<0.06	室内
4#	急诊综合大楼北侧出入口	<0.06	室内
5#	器材室	<0.06	室内
6#	电梯间	<0.06	室内
7#	走廊 1 号点位	<0.06	室内
8#	走廊 2 号点位	<0.06	室内
9#	项目所在区域点位 1 (现维修间)	<0.06	室内
10#	项目所在区域点位 2	<0.06	室内
11#	项目所在区域点位 3	<0.06	室内
12#	项目所在区域点位 4	<0.06	室内
13#	项目所在区域点位 5	<0.06	室内
14#	项目所在区域点位 6	<0.06	室内
15#	项目所在区域周围点位 1	<0.06	室内
16#	项目所在区域点位 7	<0.06	室内
17#	项目所在区域点位 8	<0.06	室内
18#	项目所在区域点位 9	<0.06	室内
19#	弱电机房	<0.06	室内
20#	项目所在区域点位 10	<0.06	室内
21#	项目所在区域点位 11	<0.06	室内
22#	项目所在区域点位 12	<0.06	室内
23#	项目所在区域周围点位 2	<0.06	室内
24#	项目所在区域点位 13	<0.06	室内
25#	项目所在区域点位 14	<0.06	室内
26#	项目所在区域点位 15	<0.06	室内
27#	强电间	<0.06	室内

28#	排烟机房	<0.06	室内
29#	报警阀间	<0.06	室内
30#	项目所在区域上方抢救室	<0.06	室内
31#	项目所在区域上方复苏病房	<0.06	室内
32#	项目所在区域上方中心护理站	<0.06	室内
33#	项目所在区域上方医护办公室	<0.06	室内
34#	项目所在区域上方药房	<0.06	室内
35#	项目所在区域上方候诊区	<0.06	室内
36#	项目所在区域上方诊疗室点位 1	<0.06	室内
37#	项目所在区域上方诊疗室点位 2	<0.06	室内
38#	项目所在区域上方等候区点位 1	<0.06	室内
39#	项目所在区域上方等候区点位 2	<0.06	室内
40#	急诊综合大楼急诊入口	<0.06	室外
41#	急诊综合大楼东侧绿地	<0.06	室外
42#	急诊综合大楼南侧绿地	<0.06	室外
43#	门诊楼	<0.06	室内
44#	医技楼	<0.06	室内
45#	病房楼	<0.06	室内
46#	停车场	<0.06	室外
47#	驾驶员休息室	<0.06	室内
注：0.06Bq/cm <sup>2</sup> 为 CoMo 170α、β 表面污染仪/05034173 探测下限。			

## 8.5 对环境现状调查结果的评价

根据表 8-3 可知，本项目室内  $\gamma$  辐射剂量率在  $11.0 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 16.3 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$  之间，室外  $\gamma$  辐射剂量率在  $9.7 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 10.2 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$  之间，根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，舟山地区室内  $\gamma$  辐射剂量率在  $8.0 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 20.3 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$  之间，室外道路  $\gamma$  辐射剂量率在  $6.4 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 11.6 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$  之间，可见本项目拟建辐射工作场所及周围 X- $\gamma$  辐射剂量率基本处于当地本底水平范围之内。

根据表 8-4 可知，本项目各监测点位的  $\beta$  表面污染监测值均小于仪器探测下限，未见明显异常。

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 工程设备和工艺分析

本项目使用的含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素的放射性药物分装拟采用自动分装仪。 $^{89}\text{Sr}$  核素为外购单支成品药物。使用的放射性药物均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在储源室暂存。

本项目核医学工作场所放射性同位素的计划工作量一览见 9-1。

表 9-1 核医学工作场所放射性同位素的计划工作量一览

核素	单人最大用药量 (Bq)	日最大门诊量	年最大门诊量	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
$^{18}\text{F}$	$3.70 \times 10^8$ (10mCi)	25 人	6250 人	$9.25 \times 10^9$	$4.63 \times 10^{12}$	PET/CT 显像诊断
				$1.85 \times 10^{10}$		备药
$^{68}\text{Ga}$	$3.70 \times 10^8$ (10mCi)	5 人	1250 人	$1.85 \times 10^9$	$9.25 \times 10^{11}$	PET/CT 显像诊断
				$3.7 \times 10^9$		备药
$^{89}\text{Sr}$	$1.48 \times 10^8$ (4mCi)	3 人	150 人	$4.44 \times 10^8$	$2.22 \times 10^{10}$	骨转移癌治疗

#### 9.1.1 PET/CT 显像诊断项目

##### (1) 设备组成

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer tomography), 全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术, 是在 PET (Positron Emission tomography) 和 CT (Computer tomography) 的基础上发展起来的新设备。PET/CT 扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成, 它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方, 两者组合在一个机架内, 后配 PET、CT 融合对位工作站, 一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

本项目核医学工作场所拟配置的 PET/CT, 型号尚未确定, 仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 150kV, 最大管电流不超过 1300mA。

常见的 PET/CT 设备外观见图 9-1。



图 9-1 常见的 PET/CT 设备外观图

## (2) 工作原理

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

## (3) 工艺流程与产污环节

**订药：**PET/CT 显像诊断用的正电子放射性核素（ $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ ）为外购核素，工作人员根据临床诊断所需药量、患者预约情况，提前一天向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学工作场所，核医学工作场所安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室。

**分装注射：**分装注射人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  的放射性药物注射前在高活室内的手套箱内进行自动分装，在铅屏蔽窗的屏蔽下为患者注射，医护人员提前为患者做好留置针，这样可以节省注射时间。

**诊断：**诊断安排在工作日周一到周五进行，患者注射后在候检室内静躺候诊（一

般注射药物后需等待约 30~60min)，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房，医生进入机房对受检患者进行摆位，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断，PET/CT 每次扫描约 10min。扫描完成后，患者离开 PET/CT 机房，在留观抢救室内留观约 10min，留观结束后由患者专用检查出口离开。

PET/CT 显像诊断的工作流程与产物环节见图 9-2。

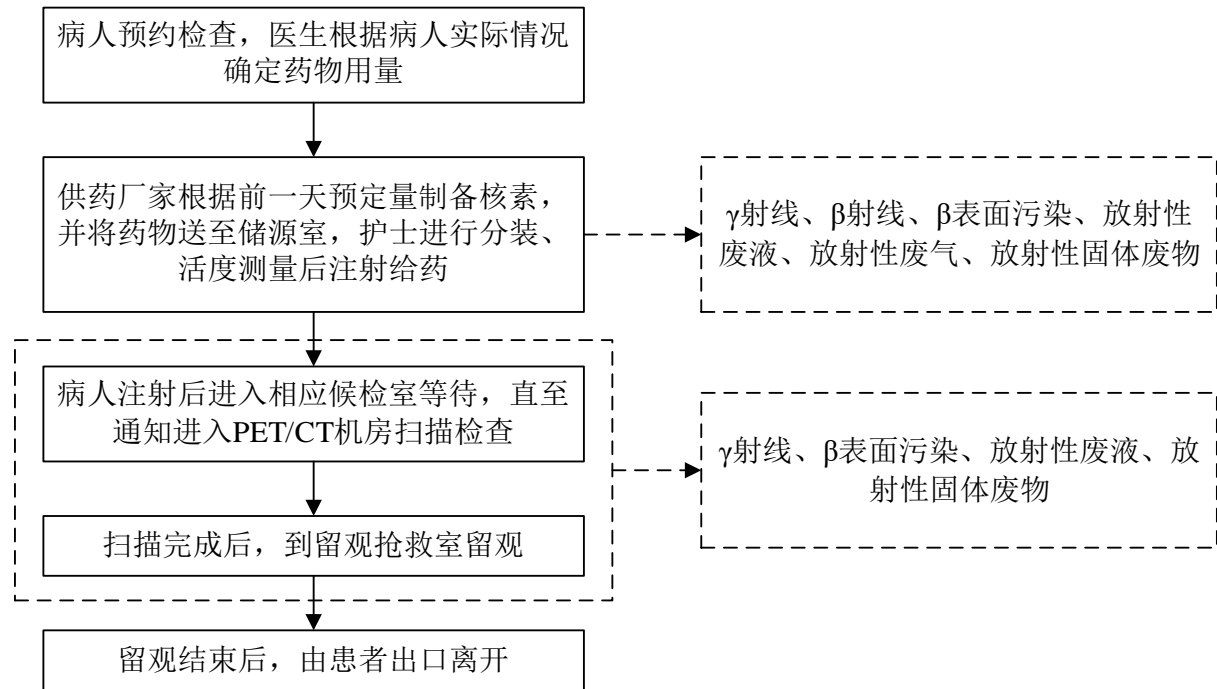


图 9-2 PET/CT 显像诊断的工艺流程与产污环节图

因此，PET/CT 使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素进行显像诊断的污染因子为  $\gamma$  射线、 $\beta$  射线、 $\beta$  表面污染、放射性废液、放射性废气和放射性固体废物。

#### (4) PET/CT 配套用 CT

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，CT 装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为主要污染因子。

另外，X 射线会与空气发生电离作用，会产生少量臭氧和氮氧化物。因此，在开机期间，污染因子主要为 X 射线、臭氧和氮氧化物。

### 9.1.2 骨转移癌治疗项目

#### (1) 工作原理

本项目拟使用含  $^{89}\text{Sr}$  核素的放射性药物进行骨转移癌治疗，通过高度选择性聚集

在病变部位的放射性核素所发射出的射程很短的  $\beta$  射线，对病变进行集中照射，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的，同时减轻对其他组织的损害。

## (2) 工艺流程与产污环节

根据医院提供的资料，患者需提前预约治疗。所使用的核素为外购单支成品药物，用于治疗的药物由工作人员在手套箱内测量活度后直接在注射室的铅屏蔽窗的屏蔽下为病人注射，每份用于治疗的放射性液体由供药商事先分装，预约病人后按约定用量和时间发货，治疗时不需再分装。骨转移癌治疗患者与 PET/CT 显像诊断患者共用注射台，在注射窗对患者进行注射治疗后，如无异常情况，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，本项目患者给药量低于放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，患者可从病人出口离开医院，无需住院。

表 9-2 患者体内放射性活度出院标准对比分析

核素	单人最大核素用量	出院时体内放射性活度要求	是否满足出院要求
$^{89}\text{Sr}$	$1.48 \times 10^8 \text{Bq}$	$2 \times 10^8 \text{Bq}$	满足

骨转移癌治疗的工艺流程与产污环节图见图 9-3。

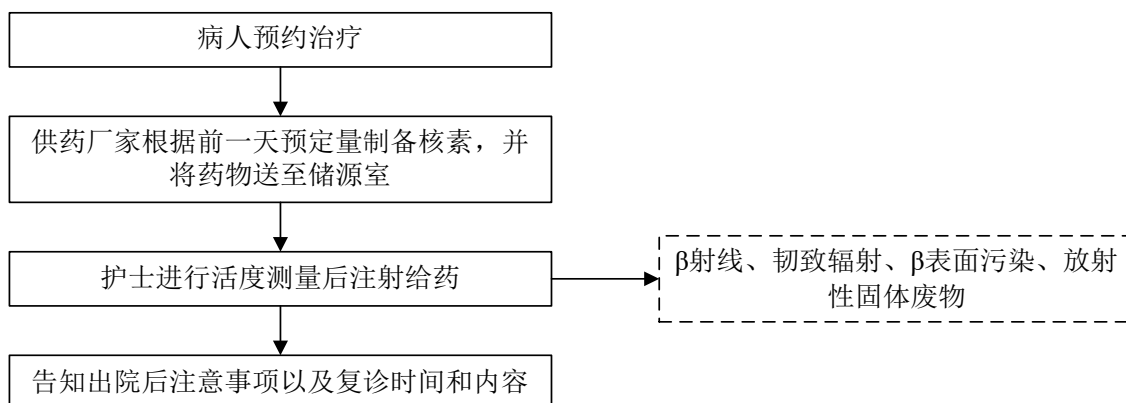


图 9-3 骨转移癌治疗的工艺流程与产污环节图

因此，骨转移癌治疗项目的污染因子为  $\beta$  射线、韧致辐射、 $\beta$  表面污染、放射性固废。

### 9.1.3 人流和物流的路径规划

#### (1) 人流的路径规划

##### ① 患者路径

**PET/CT 显像诊断：**患者从给药前候诊区经患者走廊到达注射窗口接受药物注射，然后分别前往相应的候检室等待，等待完毕后进入 PET/CT 机房接受扫描检查，患者在完成扫描后需在留观抢救室进行留观，确认无恙后则由患者走廊西北侧过道离开核医学工作场所。

**骨转移癌治疗：**患者从给药前候诊区经患者走廊到达注射窗口接受药物注射，注射完成后由患者走廊西北侧过道离开核医学工作场所。

患者通过专用楼梯或专用电梯至医院地面，出口为地面绿化带和院内道路。该路径上，患者出入口（患者走廊出入口）均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。候检室、VIP 候检室和留观抢救室均设有独立的卫生间，PET/CT 显像诊断患者可在专用卫生间内如厕，不得随意走动。

##### ② 医护人员路径

医护人员从工作人员走廊经更衣室更衣、换鞋后进入问诊室和相应办公室，技师进入控制室控制 PET/CT 设备和进行机房进行摆位；负责药物分装注射的护士经卫生通过间进入高活室进行分药、施药，负责接诊的护士前往护士台接诊。

#### (2) 物流的路径规划

##### ① 放射性药物路径

药物配送人员从核医学工作场所工作人员走廊，经过卫生通过间和高活室将预定的放射性药物送至储源室，和专人进行交接，交接过程均在监控下进行。

##### ② 污物路径

候检室、VIP 候检室和留观抢救室各设 1 个手推旋式铅桶，高活室设置 2 个手推旋式铅桶，废物间设置 3 个衰变箱，放射性固废经分类收集后转至废物间的衰变箱内暂存时间超过 30 天后，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  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对其清洁解控，选择在下班后无病人时段，送至医院医疗废物暂存间集中收集后按医疗废物处理。核医学工作场所人流和物流路径规划见附图 7。

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 正常工况下污染源项描述

#### (1) $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线和韧致辐射

本项目核医学工作场所拟使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素进行 PET/CT 显像诊断，使用  $^{89}\text{Sr}$  核素进行骨转移癌治疗。 $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素发射的正电子与负电子相结合，能产生湮没  $\gamma$  光子辐射，同时释放少量  $\beta$  射线。 $^{89}\text{Sr}$  核素在衰变过程中释放  $\beta$  射线， $\beta$  射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响，但  $\beta$  射线被阻止时会产生韧致辐射。因此  $\gamma$  射线是核素使用过程中的主要污染因子。

本项目核医学工作场所使用的放射性同位素的性能参数见表 9-3。

表 9-3 核医学工作场所使用的放射性同位素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 $\alpha$ 、 $\beta$ 辐射能量 (MeV)	主要 $\gamma$ 、X 射线能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) [ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ]
$^{18}\text{F}$	109.8min	$\beta^+$ 、EC	0.63 (+)	0.511	0.143
$^{68}\text{Ga}$	68.3min	$\beta^+$ 、EC	1.9 (+)	0.511	0.134
$^{89}\text{Sr}$	50.53d	$\beta^-$	0.5846	/	/

#### (2) X 射线

PET/CT 开机扫描时会产生 X 射线，对操作人员及周围环境造成辐射影响。

#### (3) $\beta$ 表面污染

放射性药物在使用活动过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成  $\beta$  放射性表面污染。

#### (4) 放射性废液

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液主要为核素操作人员清洗或去污废水、患者候检或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。核医学工作场所的各项诊疗均为门诊治疗，病人在核医学工作场所停留时间短，并采用节水型洁具。 $^{89}\text{Sr}$  骨转移癌治疗患者注射后立刻离开核医学工作场所，不产生放射性废液。因此，本项目产生的放射性废液中含有的放射性核素为  $^{18}\text{F}$  和  $^{68}\text{Ga}$ 。

核医学工作场所每年总门诊量为 7500 人。根据《建筑给水排水设计标准》(GB 50015-2019)，门诊患者每人每次用水定额取 10L，则本项目核医学工作场所运行时产生的门诊废水量约为  $75\text{m}^3/\text{a}$ 。



核医学工作场所工作人员在完成一天的分装、测活和注射工作后需进行污染监测，并进行去污清洗而产生放射性废液，同时工作场所需进行场所清洗，类比同类型医院，每天清洗废水产生量约 20L，每年工作 250 天，则本项目核医学工作场所运行时产生的清洗废水量约为 5m<sup>3</sup>/a。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液总量约为 80m<sup>3</sup>/a，平均约为 0.32m<sup>3</sup>/d（以 250 天计）。

#### **(5) 放射性废气**

本项目使用的含 <sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga、<sup>89</sup>Sr 核素的放射性药物均为外购，其操作均在手套箱进行，无开放性液面，且 <sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga、<sup>89</sup>Sr 为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，因此其产生的气溶胶量极少。

#### **(6) 放射性固体废物**

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固体废物主要为一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品和废气处理更换的废活性炭等。

核医学工作场所每年门诊量为 7650 人，类比浙江同类型医院核医学工作场所开展情况，患者门诊诊疗过程放射性固废约为 0.05kg/人次，则本项目核医学工作场所运行时门诊产生的放射性固废约为 382.5kg/a。

本项目拟在室外总排气口前和手套箱的顶壁分别安装活性炭过滤装置，根据设计单位提供资料，活性炭填装量分别约为 100kg 和 5kg，则活性炭的总填装量约为 105kg。根据设计单位提供资料，活性炭一般平均每半年更换一次，则用于废气处理更换的废活性炭产生量约为 210kg/a。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固废总量约为 592.5kg/a。

### **9.2.2 非正常工况污染源项描述**

(1) PET/CT 机房门-灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

(2) 由于工作人员操作不熟练或违反操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物洒漏，造成意外照射和辐射污染。

(3) 由于未锁好核医学工作场所进出口大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管不到位致放射性药物丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

## 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

本项目核医学工作场所位于医院急诊综合大楼地下一层，其东侧为工作人员走廊，走廊往东为土层，南侧为工作人员走廊和储藏室，西侧为过道和设备机房区域，北侧为患者出口走廊、家属等待间、无障碍通道、给药前卫生间、给药前候诊区和问诊室，上方为急诊科用房，下方为土层。核医学工作场所区域情况见下表。

表 10-1 核医学工作场所区域情况

工作场所	放射性区域	非放射性区域
核医学工作场所	PET/CT 机房、候检室（含卫生间）、VIP 候检室（含卫生间）、留观抢救室（含卫生间）、高活室、储源室、废物间、患者走廊、卫生通过间、衰变池	控制室、工作人员走廊、给药前候诊区、给药前卫生间、护士站、问诊室、洁具间、储藏室工作人员卫生间、更衣室、主任办公室、医生办公室、护士休息室、茶水间、工具间

本项目核医学工作场所周边不邻接产科、儿科、食堂等部门，放射性区域与非放射性区域之间有明确的分界隔离。核医学工作场所用房相对独立，其中放射性药物暂存于储源室，放射性废物暂存于废物间。诊疗流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，工作场所设置了相对独立的患者走廊和工作人员走廊。患者走廊与工作人员走廊分开，患者单向流动，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，避免了患者之间交叉影响；放射性药物在上班之前送至储源室，避免与患者交叉。

核医学工作场所出入口均设有单向门禁系统，防止给药后患者进入非放射性区域，或无关人员进入放射性区域，且出入口远离人员密集区；高活室的出口处设置有卫生通过间，并设置有去污及淋浴功能；核医学工作场所的候检室、VIP 候检室和留观抢救室均设有患者专用卫生间。衰变池组设置在核医学工作场所东北侧，储源室和废物间紧邻高活室，便于放射性废液、放射性固体废物的短距离收集和贮存衰变和放射性药物的集中存放，同时可以减小受污染区域。

本项目核医学工作场所选址和工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于核医学工作场所对于选址、布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）中关于安全操作的要求，核医学工作场所选址和工作场所布局合理。

### 10.1.2 衰变池选址合理性分析

根据设计单位出具的图纸资料，本项目衰变池设置在核医学工作场所东北侧，为埋地式衰变池，上方为绿地，拟设置电离辐射警告标志、围栏，以防止无关人员进入。本项目产生的放射性废水先经厂家配套提供的多功能集水槽后，再排入衰变池组。本项目核医学工作场所衰变池所在位置，平面及剖面见附图 8~10。

根据厂家提供资料，多功能集水槽配置一用一备带有搅刀的水泵，搅刀有搅碎功能，能够处理液体内不溶于水的物质（入厕纸），使之能搅碎为可以流动的流体物质，防止管路堵塞；搅碎杂质后由水泵抽走，免除清渣烦恼；将集水槽安装在低位，具有废水提升功能；另其还具有自冲功能，将沉渣冲起，避免淤积。因此，多功能集水槽功能等同于污泥池，可防止异物堵塞衰变池。

衰变池监控系统拟设置在核医学工作场所医生办公室，可实现远程操控和远程监控。放射性废液管道裸露部分拟采用镀锌钢管并用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护，衰变池与核医学工作场所距离较近，可以最大程度上缩短放射性废液收集管线距离，方便废水收集和排放。衰变池四侧和下方均为土层，上方为室外绿地，正常情况无人员居留。衰变池上方拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

综上所述，本项目衰变池选址相对合理。

### 10.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类和分区管理

#### (1) 非密封放射性物质工作场所分级

本项目核医学工作场所使用的放射性核素有  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ ，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录 A 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 和附录 D，查得本项目各放射性核素的毒性组别修正因子和操作方式修正因子以及日等效最大操作量计算公式（日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子）。

本项目核医学工作场所放射性核素日等效最大操作量计算见表 10-2。

表 10-2 日最大等效操作量计算

项目名称	PET/CT 显像诊断				骨转移癌治疗
	$^{18}\text{F}$ (用药)	$^{18}\text{F}$ (备药)	$^{68}\text{Ga}$ (用药)	$^{68}\text{Ga}$ (备药)	
核素名称					$^{89}\text{Sr}$
日最大操作量/Bq	$9.25 \times 10^9$	$1.85 \times 10^{10}$	$1.85 \times 10^9$	$3.7 \times 10^9$	$4.44 \times 10^8$
毒性分组	低毒	低毒	低毒	低毒	中毒

毒性组别修正因子	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1
性状	溶液	溶液	溶液	溶液	溶液
操作方式	很简单操作	贮存	简单操作	贮存	简单操作
操作方式修正因子	10	100	1	100	1
日等效最大操作量/Bq	9.25×10 <sup>6</sup>	1.85×10 <sup>6</sup>	1.85×10 <sup>7</sup>	3.7×10 <sup>5</sup>	4.44×10 <sup>7</sup>
	7.44×10 <sup>7</sup>				

结合上表计算结果，并根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于非密封源工作场所的分级原则，本项目核医学工作场所非密封放射性核素日等效最大操作量为 7.44×10<sup>7</sup>Bq，属于“2×10<sup>7</sup>Bq~4×10<sup>9</sup>Bq”的范围，为乙级非密封放射性物质工作场所。

## （2）非密封放射性物质工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类办法，本项目核医学工作场所非密封放射性物质（核素）加权活度见表 10-3。

表 10-3 非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
储源室	<sup>18</sup> F	1	100	1.85×10 <sup>10</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>	3.7×10 <sup>8</sup>	II类
	<sup>68</sup> Ga	1	100	3.7×10 <sup>9</sup>	3.7×10 <sup>7</sup>		
	<sup>89</sup> Sr	100	100	1.48×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>8</sup>		
废物间	<sup>18</sup> F	1	10	9.25×10 <sup>7</sup>	9.25×10 <sup>6</sup>	2.59×10 <sup>7</sup>	III类
	<sup>68</sup> Ga	1	10	1.85×10 <sup>7</sup>	1.85×10 <sup>6</sup>		
	<sup>89</sup> Sr	100	10	1.48×10 <sup>6</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>		
高活室	<sup>18</sup> F	1	1	1.85×10 <sup>10</sup>	1.85×10 <sup>10</sup>	3.7×10 <sup>10</sup>	II类
	<sup>68</sup> Ga	1	1	3.7×10 <sup>9</sup>	3.7×10 <sup>9</sup>		
	<sup>89</sup> Sr	100	1	1.48×10 <sup>8</sup>	1.48×10 <sup>10</sup>		
PET/CT 机房	<sup>18</sup> F	1	10	9.25×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>8</sup>	1.11×10 <sup>9</sup>	II类
	<sup>68</sup> Ga	1	10	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>		
候检室 (含卫生间)	<sup>18</sup> F	1	10	9.25×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>8</sup>	1.11×10 <sup>9</sup>	II类
	<sup>68</sup> Ga	1	10	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>		
VIP 候检室 (含卫生间)	<sup>18</sup> F	1	10	9.25×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>8</sup>	1.11×10 <sup>9</sup>	II类
	<sup>68</sup> Ga	1	10	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>		

留观抢救室 (含卫生间)	<sup>18</sup> F	1	10	9.25×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>8</sup>	1.11×10 <sup>9</sup>	II类
	<sup>68</sup> Ga	1	10	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>		
注：1.加权活度=日操作最大活度×核素毒性权重因子×操作性修正因子；操作放射性核素的加权活度>5×10 <sup>10</sup> Bq 的为 I 类核医学工作场所，操作放射性核素的加权活度 5×10 <sup>7</sup> ~5×10 <sup>10</sup> Bq 的为 II 类核医学工作场所，操作放射性核素的加权活度<5×10 <sup>7</sup> Bq 的为 III 类核医学工作场所。 2.根据项目实际情况和经验取值，核素应用过程中产生的固废核素活度按不超过使用量的 1%计。							

由上表可知，本项目核医学工作场所储源室、高活室、PET/CT 机房、候检室及卫生间、VIP 候检室及卫生间和留观抢救室及卫生间属于 II 类核医学工作场所，废物间属于 III 类核医学工作场所。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于“按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见表 10-4。

**表 10-4 按不同级别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 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>
注 <sup>a</sup> ：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。 注 <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。			

医院偏安全考虑，本项目核医学工作场所基本放射防护均参照 II 类核医学工作场所要求设计，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如 PVC 胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用圆角无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记；工作场所应保证良好的通风，设置手套箱并设有独立的排风管道。

### (3) 分区原则和区域划分情况

#### ①分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督

区，在项目运营期间采取分区管理措施。

**控制区：**在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，并定期审查控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或是更改该区的边界。

**监督区：**未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴标明监督区的标牌；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

#### ②辐射防护分区管理情况

本项目核医学工作场所辐射防护分区管理情况见表 10-5 和附图 11。

**表 10-5 辐射防护分区管理情况**

场所	控制区	监督区
核医学工作场所	储源室、废物间、高活室、PET/CT 机房、候检室及卫生间、VIP 候检室及卫生间、留观抢救室及卫生间、洁具间、患者走廊、衰变池	控制室、储藏室、问诊室、给药前卫生间、卫生通过间、家属等候间以及核医学工作场所四侧屏蔽体外 30cm 区域

#### 10.1.4 工作场所辐射屏蔽防护设计

根据医院提供资料，本项目核医学工作场所辐射屏蔽防护设计方案见表 10-6。

**表 10-6 核医学工作场所辐射屏蔽防护设计方案**

工作场所	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
储源室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖 + 60mm 硫酸钡防护涂料
废物间	东、南、西侧墙体	240mm 水泥实心砖 + 60mm 硫酸钡防护涂料
	北侧墙体	360mm 水泥实心砖 + 60mm 硫酸钡防护涂料
高活室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖 + 60mm 硫酸钡防护涂料
	注射窗（1 扇）	40mmPb 铅玻璃
PET/CT 机房	东侧墙体	360mm 水泥实心砖 + 30mm 硫酸钡防护涂料
	西、南、北侧墙体	240mm 水泥实心砖 + 60mm 硫酸钡防护涂料
	观察窗（1 扇）	8mmPb 铅玻璃
候检室	四侧墙体	360mm 水泥实心砖 + 60mm 硫酸钡防护涂料

候检室卫生间	东、南侧墙体	360mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	西、北侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
VIP 候检室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
VIP 候检室卫生间	四侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
留观抢救室	四侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
留观抢救室卫生间	东、南、西侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	北侧墙体	360mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
洁具间	东、南、西侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	北侧墙体	360mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
VIP 候检室西侧空间患者出口处	东、西、北侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	南侧墙体	/
高活室西侧空间	四侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
洁具室与候检室中间墙体	东、南、西侧墙体	/
	北侧墙体	360mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
衰变池	顶板、池壁	400mm 钢筋混凝土
	底板	600mm 钢筋混凝土
放射性废液管道	管道裸露部分	1.5mm 铅皮包裹
<p>注：1.核医学工作场所上方顶棚均采用 380mm 钢筋混凝土（新设计 200mm 钢筋混凝土+原 180mm 钢筋混凝土）作为屏蔽防护措施，</p> <p>2.核医学工作场所下方地面采用 400mm 厚钢筋混凝土作为屏蔽防护措施；</p> <p>3.本项目核医学工作场所内除了洁具间防护门采用内衬 4mm 铅板外，其余防护门均采用内衬 8mm 铅板作为屏蔽防护措施；</p> <p>4.根据建设单位提供资料，本项目使用的钢筋混凝土的密度不小于 2.35g/cm<sup>3</sup>，水泥实心砖的密度不小于 1.65g/cm<sup>3</sup>；硫酸钡防护涂料的密度不小于 2.79g/cm<sup>3</sup>；</p> <p>5.本项目硫酸钡防护涂料的施工方式除 PET/CT 机房东墙为墙体西侧涂抹 30mm 硫酸钡防护涂料外，其余墙体均采用两侧各涂抹 30mm 硫酸钡防护涂料的方式进行施工。</p>		

基于远期核医学工作场所退役后利于场所功能及布局调整，核医学工作场所各功能用房四侧墙体拟采用水泥实心砖+硫酸钡防护涂料，顶棚采用新设计 200mm 钢筋混凝土+原 180mm 钢筋混凝土作为进行屏蔽防护，结合设计单位与施工单位提供资料，本项目顶棚采取的屏蔽设计方案施工可行且具有更好的屏蔽防护效果。采用以上形式的防护措施，既做到选材最优，也能够保证满足屏蔽防护性能的需求和空间利用需求。

根据建设单位提供的机房辐射屏蔽防护设计方案，将本项目 PET/CT 机房屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目 PET/CT 机房辐射屏蔽防护设计进行对照分析，具体见表 10-7、表 10-8。

**表 10-7 机房辐射屏蔽防护设计与标准对照分析**

机房名称	防护设施	屏蔽材料及厚度（总折算铅当量）	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	符合情况
PET/CT 机房	东侧墙体	360mm 水泥实心砖+30mm 硫酸钡防护涂料（4mmPb）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	符合
	西、南、北侧墙体	240mm 水泥实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料（4mmPb）		
	顶棚	380mm 钢筋混凝土（5.12mmPb）		符合
	防护门（2扇）	内衬 8mm 铅板（8mmPb）		符合
	观察窗	8mmPb 铅玻璃（8mmPb）		符合

注：1.本项目使用的水泥实心砖的密度按照不小于 1.65g/cm<sup>3</sup> 考虑，根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，得在管电压为 150kV 的情况下，360mm 水泥实心砖等效屏蔽厚度保守折算为 3mmPb，240mm 水泥实心砖等效屏蔽厚度保守折算为 2mmPb；  
 2.本项目使用的硫酸钡防护涂料的密度不小于 2.79g/cm<sup>3</sup>，根据《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，得在管电压为 150kV 的情况下，30mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度保守折算为 1mmPb，60mm 硫酸钡涂料等效屏蔽厚度保守折算为 2mmPb；  
 3.本项目使用的混凝土的密度按照不小于 2.35g/cm<sup>3</sup> 考虑，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C，得在管电压为 150kV（主束）的情况下，380mm 混凝土等效屏蔽厚度保守折算为 5.12mmPb；  
 4.本表内铅当量数据为仅针对 X 射线的数据。

**表 10-8 机房规格与标准对照分析**

机房名称	拟设置情况		《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求		符合情况
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m <sup>2</sup> ）	最小单边长度（m）	最小有效使用面积（m <sup>2</sup> ）	
PET/CT 机房	5.0	40.0	4.5	30	符合

通过表 10-7、表 10-8 可知，本项目 PET/CT 机房有效使用面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取的辐射屏蔽防护设计并充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目 PET/CT 机房的有效使用面积、最小单边长度和防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。

### 10.1.5 辐射安全和防护、环保相关设施

#### (1) 辐射安全设施

①在 PET/CT 机房防护门、候检室防护门、VIP 候检室防护门、高活室防护门、储源室防护门、废物间防护门、手套箱、衰变箱等处设置电离辐射警告标志。PET/CT 机房防护门上方安装工作状态指示灯，并设置门-灯联锁装置。

②在高活室、PET/CT 机房、候检室、VIP 候检室、患者走廊等房间拟设有视频



装置和对讲系统，以便于工作人员及时掌握病人状态和活动情况，及时发现突发情况并进行处理。

③核医学工作场所进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。

④候检室、VIP 候检室、留观抢救室的配套卫生间和卫生通过间产生放射性废液均由专用污水管道收集至衰变池。

⑤患者给药后在各候检室内候诊，严禁串门，候检室设置铅屏风，以防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射。

⑥候检室、VIP 候检室和留观抢救室的患者专用厕所的洗手台拟设为感应式水龙头。

⑦储源室保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。药物交接过程实行双人交接，对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

⑧PET/CT 机房拟设置动力通风装置，可以保持机房内良好的通风。

⑨个人防护用品和监测仪器

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学工作场所放射防护要求》（GBZ 120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，建设单位拟配置的个人防护用品见表 10-9 和表 10-10。

**表 10-9 核医学工作场所拟配置的个人防护用品一览**

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	手套箱	高活室	1 台	40mmPb
2	自动分装仪	高活室	1 台	/
3	活度计	高活室	1 台	/
4	衰变箱 1	废物间	2 个	10mmPb
5	衰变箱 2	废物间	1 个	10mm 有机玻璃+2mmPb
6	保险箱	储源室	1 个	/
7	手推旋式铅桶 1	高活室、候检室、VIP 候检室、留观抢救室	4 个	10mmPb
8	手推旋式铅桶 2	高活室	1 个	10mm 有机玻璃+2mmPb
9	注射器防护套	高活室	1 个	10mmPb 防护套

10	注射窗口	高活室	1 个	40mmPb 铅玻璃
11	应急及去污用品	卫生通过间	1 套	/
12	移动式铅屏风	PET/CT 机房	1 个	10mmPb
13	铅橡胶性腺防护围裙、 铅橡胶颈套	PET/CT 机房	2 套	0.5mmPb
14	放射性污染防护服、工 作帽、手套、口罩等	/	按需 购买	/

**表 10-10 核医学工作场所拟配置的监测仪器一览**

名称	量程参数	数量（台/套）
β 表面污染仪	β: 0~9999cps, 0.3~10 <sup>4</sup> Bq/cm <sup>2</sup>	1
便携式 X-γ 辐射剂量率巡测仪	剂量当量率: 0.01μSv/h~300mSv/h	1
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp (10) 0.1μSv/h - 99.99mSv/h	2

本项目核医学工作场所运行时主要污染物为 X 射线、γ 射线、β 表面污染等，根据上表可知，本项目配置的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相关要求。

### **(2) 放射性药物存放场所的辐射安全措施**

①核医学工作场所使用的放射性药物应向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物送至储源室，使用时工作人员从储源室内拿出，连同铅罐包装放置于手套箱内。

②储源室应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频装置并入科室和医院保卫科监控系统、门口设置红外报警系统和电离辐射警告标志）。

③储源室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

④应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射性药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

⑤应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

⑥储源室内设施和措施应满足“六防”的防护要求。

### **(3) 放射性表面污染控制防治措施**

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准，医院应做到以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外洒漏；

②放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准值。

#### **（4）人员防护措施**

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。

##### **①辐射工作人员的防护**

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

1) 屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备放射性污染防护服等个人防护用品，注射器配备注射防护套。PET/CT 机房内设置移动铅屏风。

2) 时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

3) 距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

4) 本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，同时开展职业健康检查并建立职业健康监护档案。

##### **②受检者/患者、其他人员的防护**

为减少受检者/患者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

1) 屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射。为 PET/CT 患者配备铅橡胶围裙和铅橡胶颈套等个人

防护用品，

2) 时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

3) 距离防护：在不影响工作质量的前提下，尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

4) 辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。工作场所周围设置明显的警示、隔离措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间，增加人员与辐射场所之间的防护距离。

### (5) 操作过程中的防护措施

操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，手套箱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。对于涉及含  $^{89}\text{Sr}$  核素的放射性物质操作，操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，若存在污染，应立即用去污用品进行去污并作为放射性固体废物处理。高活室拟设 10mmPb 手推旋式铅桶，产生的放射性固废收集于手推旋式铅桶内专用塑料包装袋，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运至废物间的衰变箱进行暂存。

### 10.1.6 核医学工作场所辐射安全与防护措施与标准符合性分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），本项目核医学工作场所与标准符合性分析见表。

表 10-11 核医学工作场所与标准符合性分析

标准要求		本项目情况	符合情况
辐射工作场所分区	4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。	本项目已按相关要求划分控制区和监督区。	符合
	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。	本项目拟在控制区入口设置电离辐射警告标志和控制区的标志；在监督区入口设置标明监督区的标牌。	符合
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。	本项目核医学工作场所位于医院新城院区急诊综合大楼地下一层；设置独立的人员通道和物流通道。	符合
	5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	本项目核医学工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，且与非放射性工作	符合

		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。	本项目核医学工作场所排风口位于急诊综合大楼顶, 已尽可能远离周边高层建筑。	符合
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。	本项目核医学工作场所拟设置相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。控制区的出入口设置卫生通过间, 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。控制区内设有给药后患者的专用卫生间。	符合
	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。		符合
	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。		符合
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。	本项目均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。	符合
	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。	本项目核医学工作场所屏蔽设计已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。	符合
	6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域, 其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。	经表 11 辐射环境影响分析计算, 本项目核医学工作场所屏蔽厚度满足要求。	符合
	6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构, 以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。	经表 11 辐射环境影响分析计算, 本项目核医学工作场所放射性药物合成和分装的箱体、手套箱、注射窗等设备屏蔽厚度满足要求。	符合
	6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施, 以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。	本项目固体放射性废物收集桶、放射性废水管道裸露部分均采取铅屏蔽。	符合

	6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。	本项目核医学工作场所设有储源室和废物间，分别用于存放放射性药物和放射性固体废物，其屏蔽厚度满足要求。	符合
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。	本项目核医学工作场所用房室内表面及装备结构均符合要求。	符合
	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。	本项目核医学工作场所拟设置手套箱，并为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。	符合
	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。	本项目核医学工作场所内拟配备便携式 X-γ 辐射剂量率巡测仪和 β 表面污染仪，如监测表面污染水平超出控制标准，立即采取相应的去污措施。	符合
	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。	本项目核医学工作场所储源室拟设置保险箱用于存放放射性药物，废物间你设置衰变箱用于存放放射性固体废物，并建立台账，及时登记，确保账物相符。	符合
	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。	本项目拟配备药物转移铅罐，容器表面张贴电离辐射警告标志，容器在运送时有适当的固定措施。	符合
	6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	本项目 PET/CT 机房防护门上方设有工作状态指示灯。	符合
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。	本项目核医学工作场所共设有 2 支放射性废气排风管道，并在总排气口前和手套箱的顶壁分别安装活性炭过滤装置，放射性废气经活性炭过滤后，最终高出急诊综合大楼屋顶排放。	符合
	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。		符合
	6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。		符合

## 10.2 三废的治理

本项目核医学工作场所运行时会产生放射性废气、废液及固体废物，医院拟采取以下三废的治理措施。

### 10.2.1 放射性废液

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液主要为核素操作人员清洗或去污废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。

本项目产生的放射性废液中含有放射性核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{68}\text{Ga}$ ，其半衰期分别为 109.8min 和 68.3min，均小于 24 小时，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，上述放射性废液通过专门管道统一收集至衰变池内，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放，排入医院污水处理系统进一步处理，对周围环境的影响较小。本项目核医学工作场所排水管线走向示意图见图 12。

#### （1）衰变池

本项目核医学工作场所衰变池组为埋地式衰变池，拟设置在核医学工作场所东北侧，衰变池组内设置有 1 个多功能集水槽+3 个相同体积的并联衰变池，单个衰变池有效液面高度为 1m，有效容积为  $4.4\text{m}^3$ ，总有效容积为  $13.2\text{m}^3$ ，采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。

衰变池体为混凝土池体，内表面进行专业的耐酸碱腐蚀和防渗处理，确保池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑。每个衰变池顶板、池壁采用 400mm 钢筋混凝土浇筑，底板采用 600mm 钢筋混凝土浇筑，可确保辐射防护安全，对周围公众基本无影响。每个衰变池均设有人员检修井，检修井由盖板封闭，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放。每个衰变池均设有有人工取样口便于取样监测。

#### （2）放射性废液收集管线

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。核医学工作场所放射性废液管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目的放射性废液管道裸露部分拟采用 1.5mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。

医院应建立放射性废液的暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名

称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

### (3) 放射性废液处理流程

衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先关闭第二、三池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三池；待第三池达到设计液位后，关闭第三池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理，医院污水处理站经处理达标后排放纳入市政污水管网。3个衰变池分别按照上述程序，轮流反复交替使用。

衰变池进水管上的电磁阀和衰变池排水泵采用 PLC 可编程控制器自动控制。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停排水泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。衰变池的管理应做到以下几个方面：

①衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压、防水、防渗和防泄露的措施。

②规定患者诊断期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

③专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

④每个衰变池设置标准取样检测口，以方便取样检测。

⑤衰变池顶板上方绿地设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

### 10.2.2 放射性废气

为保持核医学工作场所良好的通风，有效收集放射性废气，本项目改造区域共设有 2 支放射性废气排风管道。排风管线走向示意图附图 13。

①号排风管道的设计排风量为 7000m<sup>3</sup>/h，连接 PET/CT 机房、候检室及卫生间、VIP 候检室及卫生间、留观抢救室及卫生间、患者走廊、卫生通过间（包括应急冲淋和更衣检测间）、高活室和高活室内的手套箱，其中为防止气体回流和交叉污



染，与手套箱连接的排风管道在汇入主排风管道前为独立设置。②号排风管道的的设计排风量为 800m<sup>3</sup>/h，连接储源室和废物间。①、②号排风管道沿急诊综合大楼西侧外墙连接至屋顶风机，最终连向 1 个室外总排气口，排气口位于急诊综合大楼楼顶中部偏向西侧，并尽可能远离邻近的高层建筑。

本项目拟在总排气口前和手套箱的顶壁分别安装活性炭过滤装置。医院应根据核医学工作场所工作量、季节及气候不同、结合供应商建议更换周期适时增加活性炭更换频次，以维持活性炭的干燥性，保证其吸附能力。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废气经活性炭过滤后，最终高出急诊综合大楼屋顶 3m 排放，对周围环境的影响较小。

### 10.2.3 放射性固体废物

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固体废物主要为一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品和废气处理更换的废活性炭等。

医院拟在高活室设 2 个手推旋式铅桶，候检室、VIP 候检室和留观抢救室内各设 1 个手推旋式铅桶，废物间设置 3 个衰变箱。拟将上述放射性固体废物收集于核医学工作场所手推旋式铅桶内，并使用专用塑料包装袋包装，包装袋显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容。装满后的包装袋应密封、不破漏，每袋重量不超过 20kg，将上述放射性固体废物及时转运暂存于废物间的衰变箱内，不同类别废物应分开存放。衰变箱表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录和台账管理。

另外，用于废气处理更换的废活性炭也应收集于专用塑料包装袋，暂存于废物间的衰变箱内。核医学工作场所放射性药物均根据计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物有剩余情况，可将放射性药物（连同铅罐）分类放置于核医学工作场所废物间内暂存。

本项目产生的放射性固废中含有放射性核素 <sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga 和 <sup>89</sup>Sr，其半衰期分别为 109.8min、68.3min 和 50.53d，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，含 <sup>18</sup>F、<sup>68</sup>Ga 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天后，含 <sup>89</sup>Sr 核素的放射性固废暂存时间超过半衰期的 10 倍（506 天）后，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 0.08Bq/cm<sup>2</sup>、 $\beta$  表面污染小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>，可对其清

洁解控并作为医疗废物处理。

综上所述，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固废在使用专用塑料包装袋收集后，分类暂存于废物间的衰变箱内，直至满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求后对其清洁解控作为医疗废物处理，对周围环境的影响较小。

### 10.3 环保投资概算一览

项目总投资为 3920 万元，环保投资 200 万元，环保投资占总投资比例为 5.10%，具体见表 10-12。

表 10-12 环保投资一览表

项目		内容	投资额 (万元)
/	环保措施名称		
辐射安全管理机构	依托现有	成立放射防护管理领导小组，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。	/
辐射安全防护措施和环保治理措施	屏蔽措施	核医学工作场所实体屏蔽，包括主体建设、铅门、铅玻璃等购买及安装施工。详见表 10-6。	80
	辐射安全防护措施	在高活室、PET/CT 机房、候检室、VIP 候检室、患者走廊等房间拟设有视频装置和对讲系统；PET/CT 机房防护门安装工作状态指示灯、设置门灯连锁；单向门禁。	20
	放射性废液处理	新建 1 组地埋式衰变池，拟设置于核医学东南侧。衰变池组由 3 个有效容积均为 4.4m <sup>3</sup> 的衰变池并联组成，总有效容积为 13.2m <sup>3</sup> 。每个衰变池顶板、池壁采用 400mm 钢筋混凝土浇筑，底板采用 600mm 钢筋混凝土浇筑，每个衰变池顶部均留有检修井。本项目核医学工作场所产生的放射性废液可以在衰变池内暂存时间约为 35 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求后，可直接解控排放，排入医院污水处理系统进一步处理。	40
	放射性废气处理	为保持核医学工作场所良好的通风，有效收集放射性废气，本项目改造区域共设有 2 支放射性废气排风管道。排气口位于急诊综合大楼楼顶，并远离邻近的高层建筑。拟在总排气口前和手套箱的顶壁分别安装活性炭过滤装置。	25
	放射性固废处理	医院拟在高活室设 2 个手推旋式铅桶，候检室、VIP 候检室和留观抢救室内各设 1 个手推旋式铅桶，废物间设置 3 个衰变箱。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，含 <sup>18</sup> F、 <sup>68</sup> Ga 核素的放射性固废暂存时间超过 30 天后，含 <sup>89</sup> Sr 核素的放射性固废暂存时间超过半衰期的 10 倍（506 天）后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面	10

		污染小于 0.08Bq/cm <sup>2</sup> 、β 表面污染小于 0.8Bq/cm <sup>2</sup> ，可对其清洁解控并作为医疗废物处理。	
	监测仪器	拟配置 1 台 α/β 表面污染监测仪；1 台便携式 X-γ 射线巡测仪；2 台个人剂量报警仪。	5
	个人防护用品	拟配置铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套 2 套；为每名辐射工作人员配备个人剂量计。其他个人防护用品详见表 10-9。	10
	警示标识	电离辐射警告标志，标明监督区的标牌等。	1
辐射防护与安全培训和考核		辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应类别的辐射安全与防护培训，并报名参加相应类别的考核，考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。	/
个人剂量监测和职业健康监护		辐射工作人员应定期进行职业健康检查，定期进行个人剂量监测，医院建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。	2
	制度上墙	操作规程，设备检维修制度，辐射事故应急制度，岗位职责等。	1
	环境监测	委托有资质单位开展核医学工作场所辐射环境年度监测。	3
	运行维护	监测仪器的维护、校准，安全设施的维护等。	2
	环境风险投资	购买应急物资，开展辐射事件应急演练等。	1
合计			200

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 施工期环境影响分析

本项目位于医院急诊综合大楼地下一层，施工期内容主要为新建墙体、房间装修（含铅防护门、铅玻璃窗以及门-灯连锁装置等安装）和 PET/CT 设备的安装调试等内容，主要的施工期环境影响分析如下：

##### （1）大气环境影响分析

本项目在施工期会产生扬尘、装修废气、臭氧和氮氧化物。装修过程中会产生扬尘，通过湿法作业，外围设置围挡，能尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，对项目周围大气环境影响较小；机房装修过程会产生少量装修废气，采用“环保型”油漆，加强通风或室内净化措施，可将装修废气的影响降至最低，装修废气不会对周围环境产生大的影响。

##### （2）水环境影响分析

本项目在施工期会产生施工废水和生活污水。施工废水循环使用，不再进行分析；施工人员产生的生活污水产量较小，经医院污水处理站处理后纳入市政污水管网，不会对周围水环境产生大的影响。

##### （3）固体废物影响分析

本项目在施工期会产生装修垃圾和生活垃圾。装修垃圾应在定点堆放，将可回收利用部分进行回收后，由施工单位外运至建筑垃圾堆放场。生活垃圾产生量不大，由医院进行统一集中收集，并交由当地环卫部门清运。

##### （4）声环境影响分析

本项目施工期的噪声源主要是机房装修产生的噪声，针对施工期声环境影响，具体防治措施有：

合理安排施工进度和作业时间，对主要噪声设备应采取相应的限时作业，避开午休时间，禁止在夜间施工；优先选择低噪音设备，日常应注意对施工机械的维修、保养，使其保持良好的运行状态；对施工人员进场进行文明施工教育，施工中不准大声喧哗。经上述防治措施后，可大大降低本项目施工过程中噪声对周围的影响。

综上所述，本项目施工范围较小，在医院的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做好各项环保措施，对环境影响较小，施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

### 11.1.2 设备安装调试期环境影响分析

PET/CT 设备在安装调试（调试过程不涉及放射性核素的使用）过程中，会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物，因安装调试时间短，届时各项污染防治措施已建成，且调试结束关机后，X 射线将即时消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境影响很小。

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

## 11.2 运行阶段对环境的影响

### 11.2.1 $\beta$ 表面污染环境影响分析

#### (1) $\beta$ 表面污染类比分析

为了解本项目核医学科运行时工作场所  $\beta$  表面污染影响，类比对象引用江南大学附属医院（无锡市第四人民医院）新院区新建放射诊疗及迁建 1 台回旋加速器项目竣工环境保护验收监测数据，由于  $\beta$  表面污染与核素种类和核素日等效操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关。项目可比性分析详见表 11-1，类比对象  $\beta$  表面污染监测结果详见表 11-2。

表 11-1 类比对象可比性分析

核素	日等效最大操作量 (Bq)	
	类比项目	本项目
$^{18}\text{F}$	$1.48 \times 10^7$	$9.25 \times 10^6$

表 11-2 江南大学附属医院非密封放射性物质 ( $^{18}\text{F}$ ) 工作场所  $\beta$  表面污染监测结果

监测场所	序号	监测点位置		检测结果 (Bq/cm <sup>2</sup> )
PET 诊断 区域	1	PET/CT 注射室	墙面	<0.12
	2		地面	<0.12
	3		门表面	<0.12
	4		通风柜表面	0.84
	5		椅子表面	<0.12
	6		洗手池表面	<0.12
	7		注射台表面	2.48
	8		放射性废物桶表面	<0.12
	9		推车表面	<0.12
	10		医疗废物桶表面	<0.12
	11	源库	地面	<0.12
	12		墙面	<0.12
	13		门表面	<0.12
	14		保险柜表面	<0.12
	15	废物间	地面	<0.12
	16		墙面	<0.12
	17		门表面	<0.12
	18		放射废物桶表面	<0.12
	19		医疗废物桶表面	<0.12
	20		水池表面	<0.12
	21	PET/CT 候检室 1	地面	<0.12
	22		墙面	<0.12
	23		门表面	<0.12
	24		椅子表面	<0.12
	25		凳子表面	<0.12
	26		垃圾桶表面	<0.12
	27		洗手间地面	<0.12
	28		洗手池墙面	<0.12
PET 诊断 区域	29	PET/CT 候检室 1	洗手间门表面	<0.12
	30		便池表面	0.44
	31		洗手池表面	<0.12

PET 诊断 区域	32		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	33	PET/CT 候检室 2	地面	<0.12
	34		墙面	<0.12
	35		门表面	<0.12
	36		垃圾桶表面	<0.12
	37		椅子表面	<0.12
	38		凳子表面	<0.12
	39		洗手间地面	<0.12
	40		洗手池墙面	<0.12
	41		洗手间门表面	<0.12
	42		便池表面	0.61
	43		洗手池表面	0.16
	44		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	45		PET/CT 候检室 3	地面
	46	墙面		<0.12
	47	门表面		<0.12
	48	垃圾桶表面		<0.12
	49	椅子表面		<0.12
	50	凳子表面		<0.12
	51	洗手间地面		<0.12
	52	洗手池墙面		<0.12
	53	洗手间门表面		<0.12
	54	便池表面		<0.12
	55	洗手池表面		4.1
	56	洗手间垃圾桶表面	<0.12	
	57	PET/CT 候检室 4	地面	<0.12
	58		墙面	<0.12
	59		门表面	<0.12
	60		垃圾桶表面	<0.12
61	椅子表面		<0.12	
62	凳子表面		<0.12	
63	洗手间地面		<0.12	
64	洗手池墙面		<0.12	

	65		洗手间门表面	<0.12
	66		便池表面	0.31
	67		洗手池表面	0.18
	68		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	69	PET/CT 候检室 5	地面	<0.12
	70		墙面	<0.12
	71		门表面	<0.12
	72		垃圾桶表面	<0.12
	73		椅子表面	<0.12
	74		凳子表面	<0.12
	75		洗手间地面	<0.12
	76		洗手池墙面	<0.12
	77		洗手间门表面	<0.12
	78		便池表面	<0.12
	79		洗手池表面	0.14
	80		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	81	PET/CT 候检室 6	地面	<0.12
	82		墙面	<0.12
	83		门表面	<0.12
	84		垃圾桶表面	<0.12
PET 诊断 区域	85	PET/CT 候检室 6	椅子表面	<0.12
	86		凳子表面	<0.12
	87		洗手间地面	<0.12
	88		洗手池墙面	<0.12
	89		洗手间门表面	<0.12
	90		便池表面	4.5
	91		洗手池表面	<0.12
	92		洗手间垃圾桶表面	<0.12
	93	病人通道	地面	<0.12
	94		墙面	<0.12
	95		门表面	<0.12
	96		垃圾桶表面	<0.12
	97		饮水机表面	<0.12



	98	PET/CT 检查室 2	地面	<0.12
	99		墙面	<0.12
	100		门表面	<0.12
	101		诊断床表面	<0.12
	102		推车表面	<0.12
	103	PET/CT 控制室	地面	<0.12
	104		墙面	<0.12
	105		门表面	<0.12
	106		桌面	<0.12
	107		椅面	<0.12
	108		铅玻璃观察窗表面	<0.12
	注：仪器检出限为 0.12Bq/cm <sup>2</sup> 。			

江南大学附属医院非密封放射性物质（<sup>18</sup>F）工作场所大部分点位均未检出 β 表面污染，剩余点位中检出最大 β 表面污染为 4.5Bq/cm<sup>2</sup>。根据监测结果可知，类比项目非密封放射性物质工作场所符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的控制区 β 表面污染小于 40Bq/cm<sup>2</sup>，监督区 β 表面污染小于 4Bq/cm<sup>2</sup> 要求。

类比项目与本项目均具有可比性，因此通过类比，医院在落实相关屏蔽和辐射安全措施后，可以推测本项目运行时核医学工作场所监督区和控制区 β 表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）相关标准。

## （2）β 表面污染防治措施

β 表面污染主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的要求，医院要做到以下安全防护措施：

- ①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；
- ③操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

- ④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- ⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查清洗、去污。工作人员应进行淋浴；
- ⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；
- ⑧做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；
- ⑨如  $\beta$  表面污染水平超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务。

在落实以上各项安全防护措施，工作人员规范操作的情况下，核医学工作场所监督区和控制区  $\beta$  表面污染可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）相关要求。

### 11.2.2 $\gamma$ 射线环境影响分析

#### (1) 计划工作量

本项目核医学工作场所放射性同位素的计划工作量一览见 11-3。

表 11-3 核医学工作场所放射性同位素的计划工作量一览

核素	单人最大用药量 (Bq)	日最大门诊量	年最大门诊量	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
$^{18}\text{F}$	$3.70 \times 10^8$ (10mCi)	25 人	6250 人	$9.25 \times 10^9$	$4.625 \times 10^{12}$	PET/CT 显像诊断
				$1.85 \times 10^{10}$		备药
$^{68}\text{Ga}$	$3.70 \times 10^8$ (10mCi)	5 人	1250 人	$1.85 \times 10^9$	$9.25 \times 10^{11}$	PET/CT 显像诊断
				$3.7 \times 10^9$		备药

#### (2) 工作场所屏蔽体外剂量率计算公式

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

场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），辐射剂量率

估算公式为：

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

式中：

$H$ ——屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$X$ ——屏蔽厚度， $\text{mm}$ ；

$TVL$ —— $\gamma$ 射线的十分之一值层厚度， $\text{mm}$ ；

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

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

$R$ ——参考点与放射源间的距离， $\text{m}$ 。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），本项目涉及核素辐射剂量率估算的相关参数取值见表 11-4。

表 11-4 涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值

核素名称	$^{18}\text{F}$	$^{68}\text{Ga}$
铅什值层厚度 $TVL$ ( $\rho=11.3\text{g}/\text{cm}^3$ )	16.6mm	16.6mm
混凝土什值层厚度 $TVL$ ( $\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )	176mm	176mm
砖什值层厚度 $TVL$ ( $\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$ )	263mm	263mm
周围剂量当量率常数（裸源） $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	0.143	0.134
患者体外 $1\text{m}$ 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	0.092	0.086

注：由于  $^{68}\text{Ga}$  主要  $\gamma$ 、 $X$  射线能量（ $\text{MeV}$ ）与  $^{18}\text{F}$  同为  $0.511\text{MeV}$ ，故其铅、混凝土和砖什值层厚度参考  $^{18}\text{F}$  取值。

### （3）核医学工作场所 $\gamma$ 射线辐射水平分析

#### ①储源室、废物间

本项目使用的核素为  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ ，医院根据与患者预约情况向药物供应商订货，由药物供应商将药物放置于铅罐，放射性药物置于铅罐内送至储源室，则储源室的源强总活度分别为： $2.78\times 10^{10}\text{Bq}$ （ $^{18}\text{F}$ ）； $5.55\times 10^9\text{Bq}$ （ $^{68}\text{Ga}$ ）。

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1% 计，则废物间的源强总活度分别为： $2.78\times 10^8\text{Bq}$ （ $^{18}\text{F}$ ）； $5.55\times 10^7\text{Bq}$ （ $^{68}\text{Ga}$ ）。

#### ②高活室

医护人员在给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到高活室，放置于手套箱（ $40\text{mmPb}$ ）内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。含  $^{89}\text{Sr}$  核素的放射性药物

不开展分装，测活后即可进行注射，含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素的放射性药物根据病人的需要采用自动分装仪分装，分装后放入注射器防护套内，注射前医护人员在手套箱内拿出带有防护套的注射器进行注射。

放射性药物在注射时，药物被置于注射器防护套内（10mmPb 防护套），整个注射过程在铅玻璃注射窗（40mmPb 注射窗）后进行。

### ③候检室、VIP 候检室

根据表 11-1 可知，放射性核素  $^{18}\text{F}$  和  $^{68}\text{Ga}$  的什值层厚度均相同，又因两者单次最大用量相同（均为 10mCi）， $^{18}\text{F}$  核素的周围剂量当量率常数（裸源）和患者体外 1m 处的周围剂量当量率均大于  $^{68}\text{Ga}$  核素，故对于本项目候检室、VIP 候检室、留观抢救室、PET/CT 机房内的源强总活度均按照注射  $^{18}\text{F}$  患者的情况保守考虑。

患者注射完放射性药物后，通过患者走廊进入对应候检室，候诊时间一般为 30min~60min，随后进入相应机房进行显像诊断，时间约为 10min。

核医学工作场所拟设置 1 间候检室和 1 间 VIP 候检室，其中候检室设置 2 张病床，病床均匀分布，病床之间设置铅屏风（10mmPb）；VIP 候检室设置 1 张病床。PET/CT 每次仅能扫描一个患者，扫描患者注射放射性药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个注射完含  $^{18}\text{F}$  核素的放射性药物的患者  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）的点源估算，候检室的源强总活度按 2 个患者同时等待考虑，VIP 候检室的源强总活度按 1 个患者同时等待考虑，则候检室的源强总活度为： $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ ；VIP 候检室的源强总活度为： $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

### ④留观抢救室

患者结束扫描检查后进入留观抢救室进行留观，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则离开核医学工作场所，留观抢救室设有 1 张病床，病床均匀分布，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则离开核医学工作场所。患者注射含  $^{18}\text{F}$  核素的放射性药物后经过一段时间的等待和检查后，药物活度已经小于初始注射量，偏保守的角度仍按初始注射活度估算，保守按 1 个注射完含  $^{18}\text{F}$  核素的放射性药物的患者进行估算，则留观抢救室的源强总活度为： $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

### ⑤PET/CT 机房

PET/CT 机房每次仅能扫描一个患者，扫描患者注射放射性药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$  点

源估算，PET/CT 机房每次扫描 1 名患者，则 PET/CT 机房的源强总活度为： $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

摆位过程工作人员穿着  $0.5\text{mmPb}$  的防护衣，在铅屏风（ $10\text{mmPb}$ ）后指导患者摆位，按身体距离患者约 1m 进行估算。

### ⑥衰变池

本项目衰变池位于核医学工作场所东北侧，本项目使用的  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$ 核素的半衰期分别为 109.8min、68.3min，前一天放射性废水暂存 24 小时后，已衰变十个半衰期，故仅考虑一天的放射性废水对周围环境的影响。患者体内核素排入衰变池的比例按照 10% 计算。

则衰变池的源强总活度为： $3.7 \times 10^8 \text{Bq}/\text{人} \times 25 \text{人}/\text{天} \times 10\% = 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （ $^{18}\text{F}$ ）； $3.7 \times 10^8 \text{Bq}/\text{人} \times 5 \text{人}/\text{天} \times 10\% = 1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ （ $^{68}\text{Ga}$ ）。

根据式 11-1，本项目核医学工作场所关注点位辐射剂量率估算见表 11-5，关注点位布设见附图 14。

表 11-5 关注点位辐射剂量率估算

序号	关注点位		距离	总源强	屏蔽材料及厚度	辐射剂量率	
			m	Bq		$\mu\text{Sv}/\text{h}$	
1	东墙外 30cm 处	2.1	$^{18}\text{F}$ : $1.85 \times 10^{10}$	50mmPb 铅罐 +240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	$2.81 \times 10^{-2}$	$3.33 \times 10^{-2}$	
			$^{68}\text{Ga}$ : $3.7 \times 10^9$		$5.26 \times 10^{-3}$		
2	南墙外 30cm 处	2.3	$^{18}\text{F}$ : $1.85 \times 10^{10}$	50mmPb 铅罐 +8mmPb 防护门	$2.34 \times 10^{-2}$	$2.78 \times 10^{-2}$	
			$^{68}\text{Ga}$ : $3.7 \times 10^9$		$4.38 \times 10^{-3}$		
3	防护门外 30cm 处	2.3	$^{18}\text{F}$ : $1.85 \times 10^{10}$	50mmPb 铅罐 +380mm 钢筋混凝 土	0.16	0.19	
			$^{68}\text{Ga}$ : $3.7 \times 10^9$		$3.01 \times 10^{-2}$		
4	顶棚上方 30cm 处	2.8	$^{18}\text{F}$ : $1.85 \times 10^{10}$	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	$2.28 \times 10^{-3}$	$2.70 \times 10^{-3}$	
			$^{68}\text{Ga}$ : $3.7 \times 10^9$		$4.26 \times 10^{-4}$		
5	东墙外 30cm 处	2.1	$^{18}\text{F}$ : $1.85 \times 10^8$	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	$7.21 \times 10^{-2}$	$8.56 \times 10^{-2}$	
			$^{68}\text{Ga}$ : $3.7 \times 10^7$		$1.35 \times 10^{-2}$		
6	北墙外 30cm 处	3.0	$^{18}\text{F}$ : $1.85 \times 10^8$	10mmPb 衰变箱 +240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	$3.53 \times 10^{-2}$	$4.19 \times 10^{-2}$	
			$^{68}\text{Ga}$ : $3.7 \times 10^7$		$6.62 \times 10^{-3}$		

				$3.7 \times 10^7$			
7	防护门外 30cm 处	2.6	$^{18}\text{F}$ :	$1.85 \times 10^8$	10mmPb 衰变箱 +8mmPb 防护门	0.32	0.38
			$^{68}\text{Ga}$ :			$3.7 \times 10^7$	
8	顶棚上方 30cm 处	2.8	$^{18}\text{F}$ :	$1.85 \times 10^8$	10mmPb 衰变箱 +380mm 钢筋混凝土	$5.84 \times 10^{-3}$	$6.94 \times 10^{-3}$
			$^{68}\text{Ga}$ :			$3.7 \times 10^7$	
9	手套箱取药位	0.5	$^{18}\text{F}$ :	$1.85 \times 10^{10}$	50mmPb 铅罐 +40mmPb 手套箱	$4.01 \times 10^{-2}$	$4.76 \times 10^{-2}$
			$^{68}\text{Ga}$ :			$3.7 \times 10^9$	
10	注射窗注射位	0.5	$^{18}\text{F}$ :	$3.7 \times 10^8$	10mmPb 注射器防 护套+40mmPb 注 射窗	0.21	0.19
			$^{68}\text{Ga}$ :			$3.7 \times 10^8$	
11	高活室	南墙外 30cm 处	3.3	$^{18}\text{F}$ :	$3.7 \times 10^8$	10mmPb 注射器防 护套+240mm 水泥 实心砖+60mm 硫 酸钡防护涂料	$5.84 \times 10^{-2}$
		南侧防护门外 30cm 处	3.4	$^{18}\text{F}$ :	$3.7 \times 10^8$	10mmPb 注射器防 护套+8mm 防护门	0.38
		南侧卫生通过 间墙外	5.8	$^{18}\text{F}$ :	$3.7 \times 10^8$	10mmPb 注射器防 护套+8mm 防护门	0.13
12	高活室	西墙外 30cm 处	2.3	$^{18}\text{F}$ :	$3.7 \times 10^8$	10mmPb 注射器防 护套+240mm 水泥 实心砖+60mm 硫 酸钡防护涂料	0.12
		西侧防护门外 30cm 处	3.0	$^{18}\text{F}$ :	$3.7 \times 10^8$	10mmPb 注射器防 护套+8mm 防护门	0.48
13	高活室	顶棚上方 30cm 处	2.8	$^{18}\text{F}$ :	$3.7 \times 10^8$	10mmPb 注射器防 护套+380mm 钢筋 混凝土	$1.17 \times 10^{-2}$
14	候检室	东墙外 30cm 处	2.5	$^{18}\text{F}$ :	$7.4 \times 10^8$	360mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	0.18
15		北墙外 30cm 处 (给药前卫 生间)	2.5			240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	0.52
16		北墙外 30cm 处	5.8			240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	$9.73 \times 10^{-2}$
17		南墙外 30cm 处	2.5			360mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	0.18
		防护门外 30cm	4			8mmPb 防护门	1.4

		处				
18		顶棚外 30cm 处	2.8		380mm 钢筋混凝土	$6.02 \times 10^{-2}$
19	VIP 候检室	西墙外 30cm 处	2.8	$^{18}\text{F}$ : $3.7 \times 10^8$	240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	0.21
		西墙外 30cm 处 (患者出口走廊)	5.6			$5.22 \times 10^{-2}$
北墙外 30cm 处 (家属等候间)		2.5	0.26			
北墙外 30cm 处		5.8	$4.87 \times 10^{-2}$			
南墙外 30cm 处		2.5	0.26			
防护门外 30cm 处		2.7	8mmPb 防护门			1.54
23		顶棚 30cm 处	2.8		380mm 钢筋混凝土	$3.01 \times 10^{-2}$
24	留观 抢救室	南墙外 30cm 处	2.8	$^{18}\text{F}$ : $3.7 \times 10^8$	240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	0.21
25		西墙外 30cm 处	2.1			0.37
26		北墙外 30cm 处	2.8			0.21
		防护门外 30cm 处	2.7		8mmPb 防护门	1.54
27		顶棚 30cm 处	2.8		380mm 钢筋混凝土	$3.01 \times 10^{-2}$
28	PET/CT 机房	摆位处	1	$^{18}\text{F}$ : $3.7 \times 10^8$	10mmPb 铅屏风 +0.5mmPb 铅衣	7.93
29		观察窗外 30cm 处	3.2		8mmPb 铅玻璃	1.10
		南墙外 30cm 处	3.4		240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	0.14
		南侧防护门外 30cm 处	4.4		8mmPb 防护门	0.58
30		北墙外 30cm 处	3.2		240mm 水泥实心 砖+60mm 硫酸钡 防护涂料	0.16
		北侧防护门外 30cm 处	3.8		8mmPb 防护门	0.78
31		东墙外 30cm 处	4.6		360mm 水泥实心 砖+30mm 硫酸钡 防护涂料	$4.31 \times 10^{-2}$
32		顶棚 30cm 处	2.8		380mm 钢筋混凝土	$3.01 \times 10^{-2}$

33	衰变池	顶板 30cm 处	2.7	<sup>18</sup> F:	400mm 钢筋混凝土	$9.68 \times 10^{-2}$	0.12
				<sup>68</sup> Ga: 1.85×10 <sup>8</sup>		$1.81 \times 10^{-2}$	
注：①根据《辐射防护导论》，将 $\gamma$ 射线减弱一定程度所需物质厚度 $d$ 与物质的密度 $\rho$ 成反比关系 ( $d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1$ )，同时根据建设单位提供资料，本项目使用的钢筋混凝土的密度不小于 $2.35\text{g/cm}^3$ ，水泥实心砖的密度不小于 $1.65\text{g/cm}^3$ ；硫酸钡防护涂料密度不小于 $2.79\text{g/cm}^3$ ，估算时将硫酸钡防护涂料厚度折合为混凝土厚度。							

由上表估算结果可知，核医学工作场所控制区实体边界外 30cm 处周围剂量当量率均小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，各关注点位的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 要求，对周围辐射环境影响较小。

实际上，患者在注射或服用药物后的等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

### 11.2.3 PET/CT 叠加剂量率

PET/CT 进行 CT 扫描时，场所周围存在 CT 散射与患者释放的  $\gamma$  射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。本项目所使用的 PET/CT 设备型号未定，配套 CT 最大管电压为 150V，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，根据《医用电气设备第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求并列标准：诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》(GB 9706.103-2020) 中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，取本项目 PET/CT 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为  $1.0\text{mGy/h}$ 。屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1， $\mu\text{Gy/h}$  与  $\mu\text{Sv/h}$  的转化因子取 1。

根据表 10-6 可知，PET/CT 机房屏蔽体外最低铅当量为 4mmPb，屏蔽透射因子最大为  $1.5 \times 10^{-5}$ 。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 2.8m，以上述数据核算，CT 设备运行所致的辐射剂量率为  $1.91 \times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 规定的  $2.5\mu\text{Sv/h}$  控制剂量率要求。根据表 11-5 PET/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大为  $1.1\mu\text{Sv/h}$ ，仍不超过设定的  $2.5\text{Sv/h}$  的剂量率控制水平。

### 11.2.4 <sup>89</sup>Sr 骨转移癌治疗辐射环境影响分析

#### (1) $\beta$ 射线辐射影响分析

骨转移癌治疗使用的放射性核素 <sup>89</sup>Sr 为纯  $\beta$  衰变，在衰变过程中仅产生  $\beta$  射线。根据《辐射防护导论》(方杰，北京，1991) P127， $\beta$  粒子射程估算见下式。



$$R=0.412E^{(1.265-0.09541\ln E)} \quad 0.01 < E < 2.5\text{MeV} \dots \text{(式 11-2.1)}$$

$$d=R/\rho \quad \text{(式 11-2.2)}$$

式中:

$R$ ——粒子在低原子序数物质中的射程,  $\text{g}/\text{cm}^2$ ;

$d$ —— $\beta$ 射线在介质中的射程,  $\text{cm}$ ;

$\rho$ ——介质的密度, 空气密度为  $1.29 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^3$ ; 有机玻璃密度为  $1.18 \text{g}/\text{cm}^3$ ; 铅玻璃密度为  $4.6 \text{g}/\text{cm}^3$ ; 人体密度为  $1 \text{g}/\text{cm}^3$ ;

$E_{\text{MAX}}$ —— $\beta$ 射线的最大能量,  $\text{MeV}$ 。

表 11-6  $^{89}\text{Sr}$  核素  $\beta$  射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	$\beta$ 射线能量 (MeV)	空气中射程 (cm)	有机玻璃中射程 (cm)	铅玻璃中射程 (cm)	人体中射程 (cm)
$^{89}\text{Sr}$	0.5846	157	0.172	0.044	0.203

经计算可知, 放射性核素  $^{89}\text{Sr}$  产生的  $\beta$  射线在有机玻璃等材料中的射程较短, 且有墙体和铅门进行屏蔽, 故放射性核素  $^{89}\text{Sr}$  产生的  $\beta$  射线对周围环境影响很小。

## (2) 韧致辐射影响分析

$^{89}\text{Sr}$  核素为纯  $\beta$  衰变, 屏蔽强  $\beta$  粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》, 对  $\beta$  辐射源, 韧致辐射采用下式进行计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \cdot q \cdot \eta \dots \text{(式 11-3)}$$

式中:

$H_r$ ——距离屏蔽层源  $r$  米处的辐射剂量率,  $\text{Gy}/\text{h}$ ;

$r$ ——参考点与屏蔽层的距离,  $\text{m}$ ;

$A$ ——放射源活度,  $\text{Bq}$ ;

$Z_e$ ——屏蔽材料的有效原子序数, 取自《辐射防护导论》表 4.4, 空气取 7.36;

$E_b$ ——韧致辐射的平均能量  $E_b$  是入射  $\beta$  粒子的最大能量的 1/3, 即  $E_b = E_{\text{max}}/3$ ,  $\text{MeV}$ ;

$\mu_{en}/\rho$ ——平均能量为  $E_b$  的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数,  $\text{m}^2/\text{kg}$ , 根据《辐射防护导论》附表 1, 查得  $^{89}\text{S}$  核素取  $2.672 \times 10^{-3}$ ;

$q$ ——参考点所在区域相应的居留因子, 保守取 1;

$\eta$ ——透射比, 根据公式  $\eta = 10^{-d/\text{TVL}}$  得出 (其中  $\text{TVL}$  屏蔽层在  $\beta$  粒子平均能量下的什值层厚度, 由《辐射防护导论》表 3.5 查得  $^{89}\text{Sr}$  在铅和混凝土中分别取值:

0.14cm、8.6cm)。

表 11-7 <sup>89</sup>Sr 核素治疗时关注点位辐射剂量率估算

序号	关注点	A	E <sub>b</sub>	r	屏蔽厚度	η	辐射剂量率
		Bq	MeV	m			μGy/h
9	手套箱取药位	4.44×10 <sup>8</sup>	0.19	0.5	40mmPb 手套箱	2.68×10 <sup>-29</sup>	1.55×10 <sup>-30</sup>
10	注射窗注射位	1.48×10 <sup>8</sup>	0.19	0.5	40mmPb 注射窗	2.68×10 <sup>-29</sup>	5.16×10 <sup>-31</sup>

由上表估算结果可知，<sup>89</sup>Sr 核素产生的韧致辐射在手套箱取药位、注射窗注射位距源 0.5m 处的辐射剂量率最大为 5.16×10<sup>-31</sup>μGy/h，考虑到核医学工作场所四侧墙体、顶棚和防护门的屏蔽和距离衰减，<sup>89</sup>Sr 核素放出的 β 粒子所致韧致辐射对周围环境的辐射影响将会更小。

### 11.2.5 人员受照剂量估算

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}}=D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式 11-4})$$

式中：D<sub>Eff</sub>——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D<sub>r</sub>——辐射剂量率，Gy/h；

t——年工作时间，h；

T——居留因子；

U——使用因子，以点源考虑，U 取 1。

不同场所的居留因子根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 附录 A 选取，本项目居留因子的选取见表 11-8。

表 11-8 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候检室及周边建筑物中的驻留区域
部分居留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候检室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场，

车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

### (1) 辐射工作人员受照的年有效剂量估算

根据医院提供的资料，本项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学工作场所各工序涉及辐射工作人员工作负荷见表 11-7。

表 11-9 辐射工作人员工作负荷一览

工作场所	工作内容	操作时间	人员数量
高活室	取药分装	每次 1min	3 人
	注射给药	每次 30s	
护士台	导诊	每天 8h	
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人摆位 1 分钟	2 人
控制室	PET/CT 控制、图像采集	每人扫描 10 分钟 (其中 CT 扫描 5 秒)	
问诊室	接诊	每天 8h	2 人

根据医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，辐射工作人员受照的年有效剂量估算见表 11-8。

表 11-10 辐射工作人员受照的年有效剂量估算

工作场所	内容	辐射剂量率	年工作时间	年有效剂量	
		$\mu\text{Sv/h}$	h	mSv	
高活室	取药分装	$4.76 \times 10^{-2}$ (9#)	125 (1min/次×7500 人次)	$5.95 \times 10^{-3}$	0.13/人
		$1.55 \times 10^{-30}$ (9#韧致辐射)	2.5 (1min/次×150 人次)	$1.29 \times 10^{-33}$	
	注射给药	0.21 ( $^{18}\text{F}$ )	52.08 (30s/次×6250 人次)	$1.09 \times 10^{-2}$	
		0.19 ( $^{68}\text{Ga}$ )	10.42 (30s/次×1250 人次)	$1.98 \times 10^{-3}$	
		$5.16 \times 10^{-31}$ (10#韧致辐射)	1.25 (30s/次×150 人次)	$6.45 \times 10^{-34}$	
护士台	导诊	0.18 (14#)	2000 (8h/天×250 天)	0.36	
PET/CT 机房	摆位	7.93 (28#)	125 (1min/次×7500 人次)	0.99	1.18/人
控制室	操作位	1.10 (29#)	1250 (10min/次×7500 人次)	1.38	
		$1.91 \times 10^{-3}$ (PET/CT)	10.42 (5s/次×7500 人次)	$1.99 \times 10^{-5}$	
问诊室	接诊	$4.19 \times 10^{-2}$ (6#)	2000 (8h/天×250 天)	$4.19 \times 10^{-2}$ /人	

根据上表可知，本项目辐射工作人员单人受照的年有效剂量最大为 1.18mSv，

满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求。

## (2) 公众受照剂量估算

根据表 11-2 估算结果，结合核医学工作场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，核医学工作场所周围公众受照的年有效剂量估算见表 11-9。

表 11-11 周围公众受照的年有效剂量估算

关注场所	方位	辐射剂量率	居留因子	位置关系	时间	年有效剂量
		$\mu\text{Sv/h}$			h	mSv
工作人员走廊	东侧	$8.56 \times 10^{-2}$ (5#)	1/4	紧邻	2000	$4.28 \times 10^{-2}$
工作人员走廊	南侧	0.13 (11#)	1/4	紧邻	2000	$6.50 \times 10^{-2}$
储藏室		0.21 (24#)	1/16	紧邻	2000	$2.63 \times 10^{-2}$
过道	西侧	0.37 (25#)	1/16	紧邻	2000	$4.63 \times 10^{-2}$
患者出口走廊		$5.22 \times 10^{-2}$ (19#)	1/4	紧邻	2000	$2.61 \times 10^{-2}$
家属等候间	北侧	0.26 (20#)	1/16	紧邻	2000	$3.25 \times 10^{-2}$
无障碍通道		$9.73 \times 10^{-2}$ (16#)	1/4	紧邻	2000	$4.87 \times 10^{-2}$
给药前候诊区		0.18 (14#)	1/16	紧邻	2000	$2.25 \times 10^{-2}$
高活室上方急诊大厅		$1.17 \times 10^{-2}$ (13#)	1	紧邻	2000	$2.34 \times 10^{-2}$
候检室上方过道	上方	$6.02 \times 10^{-2}$ (18#)	1/4	紧邻	2000	$3.01 \times 10^{-2}$
VIP 候检室上方中心护理站		$3.01 \times 10^{-2}$ (23#)	1	紧邻	2000	$6.02 \times 10^{-2}$
留观抢救室上方医护办公室		$3.01 \times 10^{-2}$ (27#)	1	紧邻	2000	$6.02 \times 10^{-2}$
PET/CT 机房上方药房		$3.01 \times 10^{-2}$ (32#)	1	紧邻	2000	$6.02 \times 10^{-2}$
衰变池上方绿地		0.12 (33#)	1/16	紧邻	2000	$1.50 \times 10^{-2}$

根据上表可知，核医学工作场所周围公众受照的年有效剂量最大为  $6.50 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足本项目公众受照的年有效剂量不超过  $0.1 \text{mSv}$  的年剂量约束值要求。

对于本项目核医学工作场所 50m 范围内其他公众，由于辐射剂量率随距离的增大逐渐衰减，故其受照的年有效剂量将小于  $6.50 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，也满足本项目公众受照的年有效剂量不超过  $0.1 \text{mSv}$  的年剂量约束值要求。

综上，本项目核医学工作场所辐射工作人员和周围公众受照的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中的剂量限值要求，也

满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的年剂量约束值要求。

### 11.2.6 放射性三废影响分析

#### （1）放射性废液

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废液主要为核素操作人员清洗或去污废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。根据表 9.2 中污染源项描述可知，上述放射性废液总量约为  $80\text{m}^3/\text{a}$ ，平均约为  $0.32\text{m}^3/\text{d}$ 。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，上述放射性废液通过专门管道统一收集至衰变池内，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放，排入医院污水处理系统进一步处理。

本项目核医学工作场所放射性废液衰变池组由 1 个多功能集水槽+3 个相同容积的衰变池组成，单个衰变池有效容积为  $4.4\text{m}^3$ ，采用“槽式”排放，并通过阀门切换并联运行，则第 1 个衰变池最后进入的废水存储时间为： $4.4\text{m}^3 \times 2 \div 0.32\text{m}^3 \approx 27$  个工作日（保守按照 5 周考虑，即 35 天，为第 3 个衰变池注满的时间），本项目的放射性废液可以在衰变池内暂存 35 天。放射性废液在衰变池内暂存时间保守按照每日门诊数 30 人满负荷估算，核医学工作场所实际运行中，每天诊断人数不超过 30 人，实际的暂存时间也将大于 35 天。

综上所述，本项目核医学工作场所产生的放射性废液可以在衰变池内暂存时间约为 35 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，可直接解控排放，排入医院污水处理系统进一步处理，对周围环境的影响较小。

#### （2）放射性废气

本项目核医学工作场所运行时会产生极少量的放射性废气。核医学工作场所共设有 2 支放射性废气排风管道，能够保持良好的通风，室外总排气口前和手套箱的顶壁分别安装有活性炭过滤装置，经活性炭过滤后，最终高出急诊综合大楼屋顶排放，对周围环境的影响较小。

#### （3）放射性固废

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固体废物主要为一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品和废气处理更换的废活性炭等。根据表 9.2 污染源项描述可知，上述放射性固废总量约为  $592.5\text{kg}/\text{a}$ 。

医院拟将上述放射性固体废物收集于核医学工作场所手推旋式铅桶内，并使用

专用塑料包装袋包装，包装袋显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容。装满后的包装袋应密封、不破漏，每袋重量不超过 20kg，及时转运暂存于废物间的衰变箱内，不同类别废物应分开存放。衰变箱表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

综上所述，并结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求，本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固废在使用专用塑料包装袋收集后，分类暂存于废物间的衰变箱内，含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素的放射性固废暂存时间超过 30 天后，含  $^{89}\text{Sr}$  核素的放射性固废暂存时间超过半衰期的 10 倍（506 天）后，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，可对其清洁解控并作为医疗废物处理，对周围环境的影响较小。

#### 医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅桶内，再将铅桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到废物间的衰变箱内，集中收储一段时间后再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 612 号）的相关规定。

## 11.3 事故影响分析

### 11.3.1 可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

（1）PET/CT 机房门-灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

（2）由于工作人员操作不熟练或违反操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物洒漏，造成意外照射和辐射污染。

（3）由于未锁好核医学工作场所进出口大门或取用药物后未及时锁好防护门等药物保管工作不到位致使放射性药物丢失，可能对周围环境和公众造成辐射污染。

### 11.3.2 辐射事故防范措施

(1) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

(2) 制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用源库设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物丢失事故时，事故发现者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、生态环境和卫生主管部门对丢失放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

(3) 加强对患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面的指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

(4) 加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废液和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

(5) 核医学工作场所个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

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



## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 12.1.1 机构的设置

根据《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》相关要求，本项目为使用乙级非密封放射性物质工作场所，参照使用 II 类放射源情况管理，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院已成立了放射管理委员会，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。该文件中明确了领导小组成员组成及相关职责，本项目实施后，核医学负责人需纳入医院现有的辐射安全与环境保护管理机构中，建设单位应及时更新、调整管理机构的人员组成。

#### 12.1.2 辐射工作人员管理

##### (1) 辐射安全与防护考核

医院严格执行辐射工作人员培训和考核制度，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），医院现有 206 名辐射工作人员，其中使用 II 类射线装置的辐射工作人员均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台集中考核，考核合格且成绩均在有效期内，使用 III 类射线装置的辐射工作人员均参加了医院自行组织的培训考核，并考核合格。

对于本项目新增辐射工作人员，应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相应类别的辐射安全与防护培训，并报名参加相应类别的考核，考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

##### (2) 职业健康检查

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。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

对于新增本项目辐射工作人员，医院应按要求至少每两年进行在岗期间职业健康检查，并建立职业健康监护档案。

### **(3) 个人剂量检测**

对于本项目新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，并按期（最长不超过 90 天）委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量检测档案。

本项目辐射工作人员的考核合格证书、职业健康监护档案、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人检测档案应保存至年满七十五周岁。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、考核合格证书、体检报告、个人剂量检测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门监督检查的要求。

#### **12.1.3 年度评估报告**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，辐射工作单位应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。医院年度评估报告包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

医院已按要求对开展的核技术利用项目进行了辐射安全与防护状况评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。本项目建成运行后，医院应将本项目纳入现有辐射安全与防护状况年度评估报告，定期上报至发证机关。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

为了保护辐射工作人员、公众及环境的安全，促进辐射实践的正当性，辐射防护的最优化，规范工作人员的操作规程，根据相关法律、法规、规范的要求，医院已制定了《放射（辐射）安全管理制度》、《放射（辐射）防护和安全保卫制度》、《放射从业人员检测管理制度》、《放射防护用品管理制度》、《放射防护培训制度》、《个人剂量监测制度》、《放射诊疗场所放射防护检测与评价制度》、《放射诊疗中心仪器设备使用、维护管理制度》、《放射诊断岗位职责》等管理规章制度。医院现有辐射安全管理规章制度内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院

从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。

鉴于建设单位目前还未制定相关的核医学相关管理规章制度，在本项目建成后运行前，建设单位应根据本项目核技术利用项目的特点，制定和完善以下方面的管理规章制度，并对现有制度进行补充和完善，以保证医院辐射相关工作安全有序开展。

(1) 操作规程：根据 PET/CT 设备的操作规程，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

(2) 岗位职责：明确核医学工作场所辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位职责，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(3) 辐射防护和安全保卫制度：根据本项目核医学工作场所的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。

(4) 设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，监测仪器必须保持良好工作状态。

(5) 台账管理制度：医院应当建立放射性核素与射线装置台账，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(6) 放射性三废管理制度：明确医院运营过程中产生的放射性三废，明确放射性三废的收集、处理、处置等事项。

(7) 应急预案：对应急措施、事故后续处理等做出要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。

## **12.3 辐射监测**

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

### **12.3.1 监测仪器和防护设备**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线

装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，本项目辐射工作场所监测仪器拟配备情况见表 12-1。

表 12-1 辐射工作场所监测仪器拟配备情况

工作场所	监测仪器	数量
核医学工作场所	X- $\gamma$ 辐射剂量率巡测仪	1 台
	$\beta$ 表面污染监测仪	1 台
	个人剂量报警仪	2 台

本项目核医学工作场所运行时主要污染物为 X 射线、 $\gamma$  射线、 $\beta$  表面污染等，根据项目特点，医院共拟配备 1 台 X- $\gamma$  辐射剂量率巡测仪、1 台  $\beta$  表面污染监测仪和 2 台个人剂量报警仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配备要求。

### 12.3.2 监测计划

#### (1) 年度监测

医院已委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应附于《辐射安全和防护状况年度评估报告》一并提交给发证机关。

#### (2) 日常自行监测

日常工作中，每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），需使用  $\beta$  表面污染监测仪对本项目辐射工作场所放射性污染情况进行监测，工作人员离开辐射工作场所时，需监测手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋、帽等的污染水平，这部分日常监测工作由本项目辐射工作人员自行完成。此外，本项目辐射工作场所应采用环境辐射巡测仪进行定期监测，频次不少于 1 次/月，以确保屏蔽防护性能的良好。

#### (3) 监测内容和要求

监测内容： $\beta$  表面放射性污染；周围剂量当量率；放射性固废。

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

表 12-2 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
核医学工作场所	β 表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候检室，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束前	1 次/年
	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1 次/月	1 次/年
	放射性固废	废物间（每袋废物表面剂量率处于本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm <sup>2</sup> ）	每次清洁解控处理前	/

## 12.4 辐射事故应急

### 12.4.1 辐射事故应急响应机构的设置

医院已成立了放射管理委员会，该组织同时负责辐射事故应急响应的相关工作：

#### (1) 人员组成：

组长：李略

副组长：王和平、金晓红

成员：胡舟朝、陈国雄、何伟岳、张增辉、王斌达、张玉惠、陈炳、郑珉、周海伟、林善红、李可、方国康、谢蓓蕾、冷雪

#### (2) 职责：

1、定期组织对放射诊疗场所、设备和人员进行放射防护情况进行自查和检测，发现事故隐患及时上报至院办并落实整改措施；

2、发生人员受超剂量照射事故，应启动本预案；

3、事故发生后立即组织有关部门人员进行放射性事故应急处理；

4、2h 内向生态环境主管部门报告事故情况；

5、负责放射性事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

6、放射事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；

7、负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

#### **12.4.2 辐射事故应急预案**

为了应对辐射事故和突发事件，医院已按要求制定了《放射事故应急处理预案》，医院制定的应急预案包括如下内容：

- (1) 制定依据；
- (2) 应急组织、人员组成及职责；
- (3) 放射性事故应急救援应遵循的原则；
- (4) 放射性事故应急处理程序。

医院现有应急预案范围仅为人员超剂量照射等所致辐射事故，本项目为新增核医学工作场所项目，原有应急预案未提及核医学工作场所相关辐射事故应急措施，不能够满足相关要求，根据国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，本项目建成后，应重新编制辐射事故应急预案，预案应当包括下列内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 辐射事故分级；
- (3) 辐射事故响应；
- (4) 辐射应急事故解除；
- (5) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (6) 辐射事故应急人员培训和演练计划。

经与医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。在今后预案实施过程中，应根据国家新发布的相关法规内容，结合医院实际及时对预案进行补充修改，使之更符合实际需要。

#### **12.4.3 应急人员的培训演习计划**

为了能有效应对辐射事故和突发事件，建设单位须定期进行应急人员的演习培训，模拟事故发生时应进行的流程和应采取的措施，当辐射事故发生时才能熟练、沉着、有效应对事故的危害降到最低。

#### **12.4.4 辐射事故上报的要求**

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单

位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

## **12.5 竣工环保验收**

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

舟山医院新城院区位于舟山市定海区定沈路 739 号，医院拟在新城院区新建核医学工作场所，使用乙级非密封放射性物质工作场所，计划对新城院区急诊综合大楼地下一层原地下车库部分区域进行改造，建设核医学工作场所，新增使用 1 台 PET/CT，并使用  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素开展 PET/CT 显像诊断，使用  $^{89}\text{Sr}$  核素开展骨转移癌治疗。经计算，本项目核医学工作场所非密封放射性核素日等效最大操作量为  $7.44 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

本建设项目总投资约为 3920 万元，其中环保投资约为 200 万元，占项目总投资额的 5.10%。

#### 13.1.2 辐射安全与防护分析结论

##### (1) 辐射安全防护措施结论

辐射防护设计：本项目核医学工作场所辐射工作场所四周墙体主要采用水泥实心砖+硫酸钡防护涂料作为屏蔽材料，顶棚为采用钢筋混凝土作为屏蔽材料，防护门内衬铅板，观察窗为铅玻璃，各屏蔽体的防护铅当量满足屏蔽防护要求，对 X 射线和  $\gamma$  射线起到了有效的屏蔽。

辐射防护设施：对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区并设置相应的电离辐射警告标志，限制无关人员进入。医院拟制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品。为辐射工作人员配备了个人剂量计，并配备了个人剂量报警仪，场所配备 X- $\gamma$  辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。在落实以上辐射安全措施后，核医学工作场所辐射安全措施能够满足辐射安全防护的要求。核医学工作场所高活室拟配备专用手套箱、放射药物专用注射窗；核医学工作场所拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯、对讲及监控设施；设置有满足要求的并联衰变池组、放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。



## (2) 辐射安全管理结论

医院已成立放射管理委员会，并制定了一系列辐射安全管理规章制度。医院应根据本项目的特点，制定和完善制度，并对现有制度进行补充和完善，以保证医院辐射相关工作安全有序开展。医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量检测档案。

### 13.1.3 环境影响分析结论

#### (1) 辐射影响分析结论

经理论预测分析，本项目核医学工作场所运行时控制区实体边界外 30cm 处周围剂量当量率均小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，各关注点位的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 要求，对周围辐射环境影响较小。

经理论估算，本项目核医学工作场所辐射工作人员和周围公众受照的年有效剂量满足本项目职业人员和公众受照的年有效剂量不超过  $5\text{mSv}$  和  $0.1\text{mSv}$  的年剂量约束值要求。

#### (2) 三废影响分析结论

##### ①放射性废液

本项目核医学工作场所产生的放射性废液可以在衰变池内暂存时间约为 35 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中相关要求，可直接解控排放，排入医院污水处理系统进一步处理，对周围环境的影响较小。

##### ②放射性废气

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性废气经活性炭过滤后，最终高出急诊综合大楼屋顶排放，对周围环境影响较小。

##### ③放射性固废

本项目核医学工作场所运行时产生的放射性固废在使用专用塑料袋收集后，分类暂存于废物间的衰变箱内，含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{68}\text{Ga}$  核素的放射性固废暂存时间超过 30 天后，含  $^{89}\text{Sr}$  核素的放射性固废暂存时间超过半衰期的 10 倍 (506 天) 后，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  $0.08\text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq/cm}^2$  的，可对其清洁解控并作为医疗废物处理，对周围环境的影响较小。

### 13.1.4 可行性分析结论

#### (1) 相关规划及选址合理性分析结论

##### ①与《舟山群岛（新区）城市总体规划（2012-2030年）》符合性分析结论

本项目为医疗服务项目，功能上与舟山群岛（新区）紧密相关，项目建成后可为该区域提供较好的医疗卫生服务，可方便人民享受便利的基本公共服务，有利于促进社会服务、基础设施建设等城市功能的建设完善，符合《舟山群岛（新区）城市总体规划（2012-2030年）》要求。

##### ②土地利用规划符合性结论

根据医院提供的《中华人民共和国国有土地使用证》（舟国用（2008）第0201715号），医院所在地用地性质为医卫慈善用地。本项目为医疗服务项目，且在急诊综合大楼内进行建设，用地性质符合土地利用规划。

##### ③污染物达标排放符合性结论

经辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射和放射性三废经采取一定的辐射防护和治理措施后，对周围环境与公众人员健康的辐射影响是可接受的，可以做到达标排放。

##### ④选址合理性分析结论

本项目为核技术利用项目，辐射工作场所实体（屏蔽物）边界外50m评价范围内主要为医院内部建筑物、院内道路、绿地和停车场，无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。因此，本项目的选址是合理的。

#### (2) 产业政策分析结论

根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024年本）》，本项目核医学工作场所属于第六项“核能”中第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与检测设备制造”，为国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

#### (3) 实践正当性分析结论

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，本项目的实践是必要的。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，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。

#### (4) 项目可行性分析结论

综上所述,舟山医院 PET-CT 建设项目选址符合国家相关法律法规,平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后,其场所内辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求,职业人员和公众年有效剂量满足相关标准要求,营运期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内,故从辐射环境保护角度论证,该项目的建设是可行的。

## 13.2 建议与承诺

### 13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训,提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性,杜绝放射性事故的发生。

### 13.2.2 承诺

(1) 按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度,加强环保档案管理,由专人或兼职人员负责。

(2) 严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、三废治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

(3) 加强辐射工作人员的管理,监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查,并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案,并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故,并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

(5) 严格执行辐射监测计划,发现问题及时整改。

(6) 本项目环评审批后,及时申领辐射安全许可证;项目竣工后,按照国家相关法律法规尽快自主组织竣工环保验收。

(7) 在实施诊治之前,事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响。

(8) 按要求每年向发证机关提交本单位辐射安全和防护年度评估报告。

(9) 接受生态环境主管部门的监督检查。

## 表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人： 公章

年 月 日

审批意见：

经办人： 公章

年 月 日