

核技术利用建设项目

海东市第二人民医院新建核医学科项目
环境影响报告表

(送审件)

海东市第二人民医院

二〇二四年十一月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

海东市第二人民医院新建核医学科项目

环境影响报告表

建设单位名称：海东市第二人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路5号

邮政编码： 810700

联系人：贾勇

电子邮箱：13997321280@139.com

联系电话：13997321280

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	17
表 7 保护目标与评价标准	20
表 8 环境质量和辐射现状	23
表 9 项目工程分析与源项	25
表 10 辐射安全与防护	38
表 11 环境影响分析	64
表 12 辐射安全管理	95
表 13 结论与建议	102
表 14 审批	108

附图

- 附图 1 项目地理位置图；
- 附图 2 医院平面布置、外环境关系及本项目评价范围图；
- 附图 3 本项目核医学科所在病房楼负 2 层平面布置图；
- 附图 4 本项目核医学科对应楼上病房楼负 1 层平面布置图；
- 附图 5 本项目核医学科平面布局图；
- 附图 6 本项目核医学科人流、物流路径示意图；
- 附图 7 本项目核医学科排风管道布局图；
- 附图 8 本项目核医学科送风管道布局图；
- 附图 9 本项目核医学科控制区与监督区划分示意图；
- 附图 10 本项目核医学科衰变池设计图；
- 附图 11 监测布点图。

附件

- 附件 1 环境影响评价委托书；
- 附件 2 海东市第二人民医院文件，《海东市第二人民医院关于调整辐射安全与防护管理领导小组的通知》（东二医[2023]56 号）；
- 附件 3 海东市第二人民医院辐射事故应急处理预案及流程；
- 附件 4 辐射安全管理规章制度；
- 附件 5 本项目监测报告；
- 附件 6 关于海东市第二人民医院新建核医学科项目环境影响报告表主要技术参数的说明；
- 附件 7 辐射安全许可证，青环辐证[23009]；
- 附件 8 个人剂量检测报告；
- 附件 9 主体工程环评批复。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		海东市第二人民医院新建核医学科项目			
建设单位		海东市第二人民医院			
法人代表	陈越新	联系人	贾勇	联系电话	13997321280
注册地址		青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路 5 号			
项目建设地点		青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路 5 号海东市第二人民医院 病房楼负 2 楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		1200	环保投资（万元）	57.5	投资比例 4.79%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			建筑面积 (m ²) /
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			

项目概述

一、概况

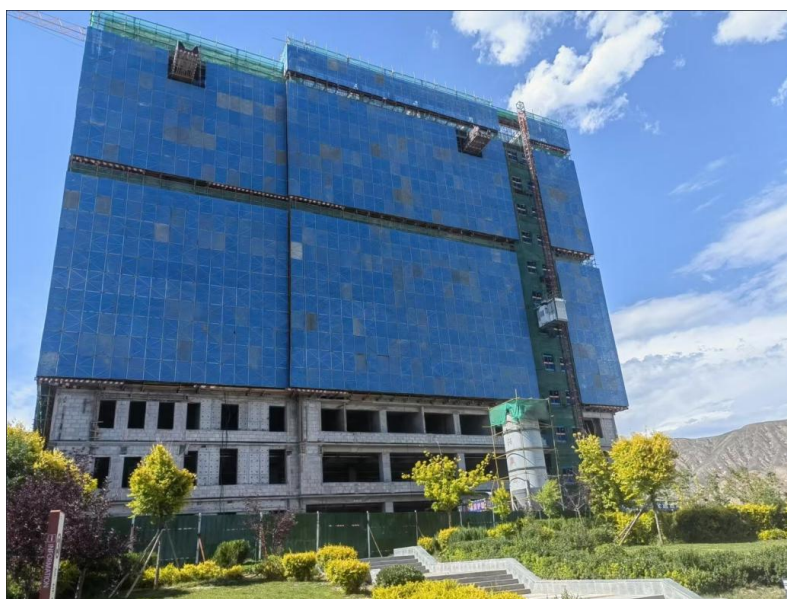
（一）建设单位简况

海东市第二人民医院是在乐都区人民医院的基础上按三级医院规模新建的一所集医疗、教学、科研、预防、康复为一体的区域综合性现代化医院。

医院位于乐都区引胜河口西岸，北临朝阳大道，南临胜利路，西侧为东胜街，医院占地 181 亩，分两期建设，一期建设面积 13.1 万平方米，一期编制床位 500 张。二期建设将依托省级区域医疗中心建设项目，打造省内一流的医疗救治服务高地，提升常见病、多发病、部分危急重症及肿瘤疾病的诊疗服务能力，满足人

民群众就近享有高水平医疗服务需求，拟增设床位 259 张，建筑面积 2.85 万平方米，拟建设 259 张床位的病房楼及核医学科、超声介入科、精神卫生科、疼痛科等科室业务用房。建成后可满足日门急诊服务人次 3000 余人，并提供 759 张病床位。

医院二期项目即青海省省级区域医疗中心（海东市）建设项目于 2022 年 4 月 18 日取得了海东市生态环境局的批复文件，批复文号为：东生 [2022]98 号。



本项目所在主体工程病房楼建设现状

（二）项目由来

为更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，医院拟在二期项目即青海省省级区域医疗中心（海东市）建设项目建设的病房楼负 2 楼新建核医学科，属于乙级非密封放射性物质工作场所，使用非密封放射性物质碘-131、钼-99（钼钨发生器，用于制备钨-99m）、钨-99m、氟-18、锶-89，使用密封放射源锶-90（V 类放射源），配置使用 1 台 SPECT/CT（单光子发射计算机断层仪，最大管电压 140kV，最大管电流 700mA，属于Ⅲ类射线装置）、1 台 PET/CT（正电子断层扫描仪，最大管电压 140kV，最大管电流 700mA，属于Ⅲ类射线装置）。

本项目涉及乙级非密封放射性物质工作场所、使用Ⅲ类射线装置、V 类放射源，为加强非密封放射性物质、射线装置、放射源的辐射安全管理，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、射线装置、放射源的使用不对

周围环境和工作人员及公众产生不良影响，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》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方须对该项目进行环境影响评价。

根据中华人民共和国生态环境部第 16 号令《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目涉及乙级非密封性放射性物质工作场所、使用Ⅲ类射线装置、V 类放射源，应编制环境影响报告表。因此，海东市第二人民医院委托四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心）开展环境影响评价工作（附件 1）。评价单位接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《海东市第二人民医院新建核医学科项目环境影响报告表》。

二、项目概况

（一）项目名称、性质、建设地点

项目名称：海东市第二人民医院新建核医学科项目

建设单位：海东市第二人民医院

建设性质：扩建

建设地点：青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路 5 号海东市第二人民医院病房楼负 2 楼

（二）建设内容及规模

医院拟在病房楼负 2 楼新建核医学科。核医学科为 1 个非密封放射性物质工作场所（属乙级非密封放射性物质工作场所），具体建设内容如下：

（1）甲癌治疗和甲状腺功能测定项目：使用非密封放射性物质碘-131 进行甲状腺功能测定和甲癌治疗，设置 2 间单人甲癌治疗病房。

（2）SPECT 诊断项目：建设一间 SPECT/CT 机房，在 SPECT/CT 机房内安装使用 1 台 SPECT /CT（属于Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质钨-99m（由钼钨发生器淋洗而来）开展 SPECT 显像诊断。

（3）PET 诊断项目：建设一间 PET/CT 机房，在 PET/CT 机房内安装使用 1

台 PET/CT（属于Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质氟-18 开展 PET 显像诊断，待型号确定后再进行校准源的匹配和环评登记备案工作。

（4）骨转移癌治疗项目：使用非密封放射性物质锶-89 进行骨转移癌治疗。

（5）敷贴治疗项目：密封放射源锶-90（V 类放射源）进行敷贴治疗。

核医学项目拟使用的放射源、射线装置和非密封放射性物质见表 1-1~1-3。

表 1-1 核医学项目拟使用的放射源

序号	核素名称	活度（Bq）×枚数	类别	使用地点	用途	年接诊人数
1	锶-90	$1.48 \times 10^9 \times 1$	V	敷贴室	敷贴治疗	500 人

表 1-2 核医学项目拟使用的射线装置

序号	装置名称	型号	数量	类别	最大管电压	最大管电流	拟安装位置
1	PET/CT	待定	1	Ⅲ	140	700	PET/CT 机房
2	SPECT/CT	待定	1	Ⅲ	140	700	SPECT/CT 机房

表 1-3 核医学项目拟使用的非密封放射性物质

核素	单人最大用药量（Bq）	日最大诊疗人数	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年接诊人数	年最大用量（Bq）
碘-131（甲功）	1.85×10^5	20	3.70×10^6	3.70×10^5	2000 人	3.70×10^8
碘-131（甲癌）	7.40×10^9	2	1.48×10^{10}	1.48×10^9	100 人	7.40×10^{11}
锝-99m	9.25×10^8	20	2.22×10^{10}	2.22×10^8	2000 人	1.85×10^{12}
钼-99	/	/	2.22×10^{10}	2.22×10^7	/	1.85×10^{12}
锶-89	1.48×10^8	5	7.40×10^8	7.40×10^7	500 人	7.40×10^{10}
氟-18	3.70×10^8	5	3.70×10^9	3.70×10^6	500 人	3.70×10^{11}
合计				1.80×10^9	/	/
场所等级				乙级	/	/

（三）项目组成及主要环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-2。

表 1-2 项目组成及主要的环境问题一览表

名 称	建设内容及规模	可能产生的环境问题	
		施工期	运营期
主体工程	本项目拟建核医学科位于病房楼负 2 楼，拟使用的非密封放射性物质包括：碘-131、钼	施工废水、扬尘、施工	X 射线、γ/β 射线、放射性

	-99(钼铈发生器,用于制备铈-99m)、铈-99m、氟-18、锗-89,日等效最大操作量为$1.80\times 10^9\text{Bq}$,为乙级非密封放射性物质工作场所。拟配置使用1台SPECT/CT(属于III类射线装置,型号未定,额定管电压为140kV,额定管电流为700mA)、1台PET/CT(属于III类射线装置,型号未定,额定管电压为140kV,额定管电流为700mA)。使用1枚锗-90V类放射源,活度为$1.48\times 10^9\text{Bq}$。 主要场所包括:敷贴室(10.5m^2)、放废间2(3.4m^2)、吸碘间(14.1m^2)、注射室1(3.8m^2)、注射室2(3.8m^2)、分装室2(13.0m^2)、储源室2(2.1m^2)、放废间2(2.1m^2)、运动/抢救室(12.1m^2)、SPECT/CT机房(44.2m^2)、控制室(12.9m^2)、PET/CT机房(43.3m^2)、污洗间1(4.6m^2)、分装室1(11.2m^2)、储源室1(2.2m^2)、放废间1(2.2m^2)、服药间(2.9m^2)、SPECT等候间1(21.1m^2)、SPECT等候间2(21.1m^2)、PET等候间(22.6m^2)、留观室(21.9m^2)、治疗室(8.0m^2)、甲癌病房1(27.8m^2)、甲癌病房2(27.8m^2)、衣物间(7.8m^2)、监测室(6.8m^2)、污洗间2(6.5m^2)、污物间(13.5m^2)。	机械噪声、建筑垃圾等以及安装调试过程中的X射线、臭氧。	废水、放射性固废、放射性废气、 β 表面沾污
配套工程	医生办公室、登记室、治疗室、诊室、主任室、示教室、采血室、候诊区等。	/	生活垃圾、生活废水、医疗废物
公用工程	利用医院主体工程建设的排水、配电、供电和通讯系统等。		/
办公、生活设施	依托医院主体工程建设的办公用房。		生活污水、生活垃圾
环保工程	设置一个衰变池,放射性废水经过化粪池(污泥池)后排入衰变池。衰变池为3格并联衰变池,单格池子有效容积为 88.8m^3 。	施工废水、扬尘、施工机械噪声、建筑垃圾等	放射性废水
	核医学科拟设置四套独立的排风系统,其中分装室1自动分装仪为一套独立排风系统,排风量为 $1500\text{m}^3/\text{h}$;分装室2分装柜为一套独立排风系统,排风量为 $1000\text{m}^3/\text{h}$;甲癌病房区为一套独立排风系统,排风量为 $3500\text{m}^3/\text{h}$;其余房间为一套排风系统,排风量为 $7000\text{m}^3/\text{h}$ 。核医学科设置三套新风系统,其中清洁区一套,送风量为 $3000\text{m}^3/\text{h}$,甲癌病房	施工机械噪声、固体废弃物等	噪声

	区为一套，送风量为 2500 m ³ /h；其他房间为一套，送风量为 8000 m ³ /h。		
--	---	--	--

（四）主要设备配置及技术参数

本项目核医学科核素主要技术参数见表 1-3-1。

表 1-3-1 核素参数一览表

核素名称	半衰期	主要衰变方式	主要β射线能量 (MeV)	主要γ射线能量 (MeV)	用途
¹³¹ I	8.04d	β ⁻ (100%)	0.606	0.364	甲状腺吸碘功能测定、甲癌治疗
^{99m} Tc	6.02h	IT (100%)	0.002	0.14	SPECT/CT 显像
⁹⁹ Mo	2.75d	β ⁻ (100%)	1.215 (82.4%) 0.437 (16.4%)	0.7395	制备 ^{99m} Tc
¹⁸ F	109.7min	β ⁺ (97%) EC (3%)	0.64	0.511	PET-CT 显像
⁸⁹ Sr	50.5d	β ⁻ (100%)	1.495	/	骨转移治疗
⁹⁰ Sr	28.79a	β ⁻ (100%)	0.546	/	敷贴治疗

本项目核医学科射线装置配置及主要技术参数见表 1-3-2。

表 1-3-2 本项目核医学科主要设备配置及主要技术参数

序号	装置名称	型号	数量	类别	最大管电压	最大管电流	拟安装位置
1	PET/CT	待定	1	Ⅲ	140	700	PET/CT 机房
2	SPECT/CT	待定	1	Ⅲ	140	700	SPECT/CT 机房

表 1-3-3 放射源参数一览表

放射源种类	放射源活度 (Bq) /数量	半衰期	年使用量 (枚)	放射源类别	放射源 β 射线能量 (MeV)
锶-90	1.48×10 ⁹ /枚	28.79a	1	V	0.546

三、工作人员及工作制度

（一）劳动定员

本项目核医学科拟安排辐射工作人员共 10 人，氟-18 和锝-99m 的分药、注射由 2 人轮换操作；碘-131（甲吸）的服药和测定由 1 人操作；锶-90 敷贴治疗由 1 人操作；碘-131（甲癌）由分药仪自动分药，需工作人员取药、给药，由 2 人轮换操作。此外，设置 2 名 PET/CT 操作人员，2 名 SPECT/CT 操作人员，负责设备的出束、校准以及患者的摆位。

本项目辐射工作人员均为新增辐射工作人员。建设单位应组织本项目辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加考核，取得成绩合格单后方可从事辐射工作。今后培训时间超过 5 年的辐射工作人员，需进行再培训。

（二）工作制度

本项目辐射工作人员每年工作 250 天，每天工作 8 小时，实行白班单班制。

四、产业政策符合性

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于淘汰类和限制类产业，符合国家产业政策。

五、项目选址、外环境关系及实践正当性分析

（一）外环境关系分析

1、 医院外环境关系

海东市第二人民医院位于青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路 5 号，医院北邻朝阳大道，东侧为规划道路，南侧为胜利路，西侧为东胜街，医院四周目前为商业和居住为主的城区环境。本项目地理位置图见附图 1，医院总平面布置图见附图 2。

2、 项目外环境关系

本项目核医学科位于病房楼负 2 楼（设计为 14 层，其中地上 12 层，地下 2 层）负 2 楼北侧。

核医学辐射工作场所东侧紧邻土层，南侧紧邻热水机房和库房，西侧和北侧为停车场，上方为停车场、排风机房、电信间、库房、生活垃圾暂存间，下方为土层。核医学科衰变池位于医院病房楼东北侧绿化带下（拟设置栅栏进行隔离），衰变池四周及下方均为土层，上方为绿化带。

（二）选址合理性分析

本项目核医学科选址与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求符合性分析见表 1-4。

表 1-4 核医学科与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对照分析

标准要求	本项目实际情况	备注
------	---------	----

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。	本项目核医学科位于病房楼负2楼，为该栋楼的底层，为独立的非密封放射性物质工作场所，根据平面布置，该非密封放射性物质工作场所已设置有独立的人员、物流通道。	满足
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所有明确的分界隔离。	本项目核医学科不毗邻产科、儿科和食堂等部门，同时避开了医院内人流量较大的住院区域、门诊大厅区域，同时与周围非辐射工作场所所有明确的分界隔离，并有实体屏蔽措施。	满足
核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目核医学科控制区内设置有独立排风系统，且排风管道引至病房楼楼顶进行排放，且已远离周围高层建筑。	满足

本项目所在病房楼已取得海东市生态环境局的批复（批复文号为：东生[2022]98号），医院二期项目选址合理性已在《青海省省级区域医疗中心（海东市）建设项目环境影响报告表》中进行了论述，本项目仅为整体项目的配套建设项目，不新增用地。本项目核医学科位于病房楼负2楼，辐射工作场所选址相对独立，不邻接产科、儿科、食堂等场所，且设置有单独的出入口，核医学科避开了人群较集中的门诊大楼、收费处等人群稠密区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求。本项目不新增用地，项目水、电、气、通讯设施依托医院主体工程，且拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求，同时50m评价范围内无自然保护、风景名胜区和生态保护红线等生态敏感目标。因此本项目选址合理。

（三）实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足公众多层次、多方位、高质量、便利的就诊需求，提高对疾病的诊断和治疗能力。本项目核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的效果，是其他诊断项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，由于放射诊疗的方法效果显著，其优势明显，因此，该项目的实践是必要的。本项目在诊治过程中，对非密封放射性物质、射线装置、放射源的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防

护措施，并建立相应的规章制度和辐射事故应急预案。因此，在正确使用和管理的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小，该核技术利用的实践具有正当性。

六、原有核技术利用项目许可情况

1、原有辐射安全许可情况

海东市第二人民医院已取得《辐射安全许可证》（青环辐证[23009]）（附件 7），有效期至 2028 年 08 月 03 日，许可的种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置。医院无未经辐射安全许可就投运的辐射设备或辐射场所，实际使用医用射线装置的情况与辐射安全许可证一致，具体情况见表 1-5。医院登记在辐射安全许可证上的射线装置目前均处于正常使用状态。

表 1-5 医院已许可射线装置情况一览表

序号	设备名称	规格/型号	类别	技术参数	场所
1	CT	CT-WS-17	Ⅲ类	管电压 120kV 管电流 200mA	医院发热门诊 1 层
2	DSA	UNIQFD20	Ⅱ类	管电压 125kV 管电流 1000mA	医院门诊楼 3 层
3	口腔 CT	PAPAYA3D Plus	Ⅲ类	管电压 70kV 管电流 7mA	医院四层口腔科
4	CT	SOMATOM Emotion16-slice configuration	Ⅲ类	管电压 130kV 管电流 345mA	医院一层放射科
5	DR	OPTITOP150/40/80HC	Ⅲ类	管电压 150kV 管电流 500mA	医院一楼体检中心
6	DR	Multic Fusion max 祥龙 max	Ⅲ类	管电压 150kV 管电流 500mA	综合楼一层急诊
7	体外冲击波碎石机	HK.ESWL-V	Ⅲ类	管电压 110kV 管电流 5mA	综合楼一层影像中心
8	数字胃肠机	Uni-Vision	Ⅲ类	管电压 125kV 管电流 500mA	
9	乳腺 X 射线机	Senographe Crystal Nova	Ⅲ类	管电压 70kV 管电流 7mA	
10	骨密度仪	Prodigy Advancer	Ⅲ类	管电压 110kV	

				管电流 65mA	
11	DR	Multic Fusion Max 祥龙 Max	Ⅲ类	管电压 150kV 管电 500mA	
	DR	Multic Fusion Max 祥龙 Max	Ⅲ类	管电压 150kV 管电 500mA	
	DR	Multic Fusion Max 祥龙 Max	Ⅲ类	管电压 150kV 管电 500mA	
12	CT	SOMATOM go.Top	Ⅲ类	管电压 140kV 管电 400mA	
	CT	SOMATOM go.Top		管电压 140kV 管电 400mA	

2、辐射安全与防护管理机构

建设单位已成立辐射安全与防护管理领导小组（附件 2），并对其领导小组进行了调整，该领导小组具体负责医院辐射安全管理工作。

3、辐射安全管理制度的建立和执行情况

建设单位制定了相关辐射安全管理制度，主要包括辐射防护和安全保卫制度、辐射安全管理制度、辐射安全维修与维护制度、环境辐射监测方案、辐射工作人员培训管理制度、辐射工作人员个人剂量管理制度、辐射工作人员健康管理（监护）制度、辐射工作人员岗位职责、监测仪表使用与校验管理制度、放射性同位素和射线装置操作规程、非密封放射性物质管理规定、去污操作规程、放射性废物处理制度等多个管理制度，详见附件 4。

4、辐射工作人员个人剂量情况

医院辐射工作人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送检，并建立个人剂量档案。

根据医院提供的 2023 年 7 月 5 日~2024 年 6 月 30 日四个季度的个人剂量检测报告（附件 8），全院 36 名辐射工作人员个人剂量检测结果均低于职业人员 5mSv/年的约束限值。

本项目工作人员均为新增辐射工作人员，暂无个人剂量检测结果。

5、辐射安全与防护考核情况

目前，医院共有 36 名辐射工作人员。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的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号）要求，医院仅从事Ⅲ类射线装置使用活动的 29 名辐射工作人员均已参加院内辐射安全

防护知识考核，7 名非Ⅲ类射线装置使用活动辐射工作人员中已有 5 名通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加考核，取得了成绩合格单，剩余 2 名正在进行学习；医院承诺将尽快安排本项目核医学科辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识并报名参加考核，取得成绩合格单后方可从事辐射工作。今后培训时间超过 5 年的辐射工作人员，需进行再培训。

6、年度评估情况

建设单位编制了《青海省核技术利用单位辐射安全和防护状况年度评估报告（2023 年度）》。医院辐射安全管理情况如下：

- （1）所有核技术利用项目均已履行相应环保手续；
- （2）个人剂量档案和职业健康档案齐全；
- （3）现有核技术利用项目与辐射安全许可证台账明细一致；
- （4）放射防护与设施运行、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、辐射应急处理措施、档案管理方面均满足相应规定要求；
- （5）自从事辐射诊疗以来，医院严格按照国家法律法规进行管理，未发生过辐射安全事故。

7、年度监测情况

海东市第二人民医院按照要求进行了 2023 年度监测，根据监测报告，建设单位已有射线装置辐射工作场所周围剂量当量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，周围职业人员和公众的年有效剂量均分别小于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的管理限值要求。



表 2 放射源

序号	核素名称	类别	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	锇-90	V	1.48×10 ⁹ /枚×1 枚	使用	敷贴治疗	病房楼负 2 楼核医学科	铅罐/储源室 3	/

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	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	备注
1	碘-131	液态	使用	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁵	3.70×10 ⁸	甲状腺吸碘功能测定	简单操作	病房楼负 2 楼核医学科	铅罐/储源室 1	/
				1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁹	7.40×10 ¹¹	甲癌治疗	简单操作			
2	锝-99m	液态	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	1.85×10 ¹²	SPECT/CT 显像	简单操作		铅罐/储源室 2	/
3	钼-99	液态	贮存	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁶	1.85×10 ¹²	制备 ^{99m} Tc	贮存		铅罐/储源室 2	/
4	锇-89	液态	使用	7.40×10 ⁸	7.40×10 ⁷	7.40×10 ¹⁰	骨转移治疗	简单操作		铅罐/储源室 2	/
5	氟-18	液态	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁶	3.70×10 ¹¹	PET-CT 显像	很简单的操作		铅罐/储源室 2	/

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
	本项目不涉及									

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT/CT	Ⅲ类	1	未定	140	700	放射诊断	病房楼负 2 楼核医学科	/
2	PET/CT	Ⅲ类	1	未定	140	700	放射诊断	病房楼负 2 楼核医学科	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管 电压 (kV)	最大靶 电流 (μA)	中子 强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方 式	数量	
	本项目不涉及												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科	一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等	固态	钨-99m、氟-18、锝-89	375kg/a	/	按不同核素分类收集，其中含氟-18、钨-99m 的放射性固废暂存衰变 30 天，含锝-89 放射性固废暂存衰变 10 个半衰期（505 天），暂存于核医学科污物间 2；含碘-131 放射性固体废物暂存衰变 180 天，暂存于核医学科放废间 1。	经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α表面沾污＜0.08Bq/cm²，β表面沾污＜0.8Bq/cm²，并经审管部门认可后，可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
	一次性口杯、擦拭纸巾、餐盘等	固态	碘-131	750kg/a	/		
	废弃过滤器	固态	钨-99m、氟-18、碘-131、锝-89	100kg/a	/		
	废旧钼钨发生器	固体	钼-99、钨-99m	50 个/a	/	暂存于核医学科放废间 2	由生产厂家回收
	退役放射源	固体	锝-90	1 枚/a	/	暂存于核医学科放废间 3	由生产厂家回收
	放射性气溶胶	气体	钨-99m	极少量	/	/	经过滤器过滤后，引至病房楼楼顶排放。
			氟-18	极少量	/	/	经过滤器过滤后，引至病房楼楼顶排放。
			碘-131	/	15.4Bq/m³	/	经过滤器过滤后，引至病房楼楼顶排放。

	放射性废水	液态	铊-99m、氟-18、碘-131	197.5m ³ /a	总β≤10Bq/L，碘-131 活度浓度≤10Bq/L	放射性废水通过专用管道排至衰变池 暂存衰变 180 天	暂存衰变 180 天后可 直接排入医院污水处理站。
--	-------	----	------------------	------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日实施）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修改实施）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年 3 月 2 日修改并实施《国务院关于修改部分行政法规的决定》，中华人民共和国国务院令 第 709 号）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年，国家环境保护总局令 第 31 号，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令 第 3 号修改，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 第 47 号修改，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 第 7 号修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 第 20 号修改）； (6) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起施行）； (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版）（生态环境部第 16 号令）； (9) 《射线装置分类》（环保部与国家卫生计生委 2017 年第 66 号）； (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）； (11) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环保总局公告 2005 年 第 62 号）； (12) 《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，2020 年 1 月 1 日施行）； (13) 《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）； (14) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）；
------	---

	(15) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB8999-2021)。
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (3) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (4) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)； (5) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)； (6) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)； (4) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (5) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ244-2017)； (6) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (7) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)。
其他	(1) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理报告制度的通知》(环发[2006]145 号)； (2) 《关于加强放射性同位素与射线装置辐射安全和防护工作的通知》(环境保护部环发[2008]13 号)； (3) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》； (4) 联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)-2000 年报告； (5) 《电离辐射剂量学》(李士骏 著)； (6) 《放射防护实用手册》(主编：赵兰才、张丹枫)； (7) 《辐射防护手册》(第一分册，李德平、潘自强主编)； (8) 《X 射线和γ射线防护手册》(苏森龄 著)； (9) 建设单位提供资料； (10) 《委托书》。

表 7 保护目标与评价标准

一、评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的有关规定，结合项目特点，确定本项目评价范围为：以非密封放射性物质工作场所四周墙体向外延伸 50m 的区域。

二、保护目标

本项目核医学科位于病房楼的负 2 楼，核医学科上方为停车场、排风机房、电信间、库房、生活垃圾暂存间，下方为土层。根据评价范围、医院辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，确定本项目重点关注的环境保护目标为场所四周及楼上房间的人员，具体见表 7-1 所示。

表 7-1 本项目核医学科主要环境保护目标

保 护 名 单			规 模	位 置	与辐射源最近距离	
					水平	垂直
核医学科	职业	核医学科工作人员	10 人	敷贴室、吸碘间、注射室 1、注射室 2、分装室 2、储源室 2、污物间 2、运动/抢救室、SPECT/CT 机房、控制室、PET/CT 机房、分装室 1、储源室 1、污物间 1、治疗室。	/	0m
	公众	医院其他工作人员和进入医院的公众	5 人	北侧主任室、示教室	7.5m	0m
			20 人	西侧采血室、诊室、治疗室、护士站、登记室、候诊区	1.5m	0m
			1 人	南侧热水机房、库房	2.5m	0m
			流动人群	对应病房楼负 1 楼车场、排风机房、电信间、库房、生活垃圾暂存间	0m	3.7m

三、评价标准

1、剂量限值与剂量约束值

(1) 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，任何工作人员的职业照射不超过由审管部门决定的连续 5 年平均有效剂量 20mSv；第 B1.2 条的规定，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年有效剂量 1mSv。

(2) 剂量约束值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），一般情况下，核医学科职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

2、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	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		0.4

3、放射性废水排放标准

(1) 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及辐射函【2023】20 号的要求，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、含碘-131 核素的放射性废液暂存时间超过 180 天后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

(2) 根据《污水综合排放标准》（GB8978-1996）和《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）总β属于一类污染物，总β放射性最高允许排放浓度为 10Bq/L。

4、放射性废气排放标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），不同年龄组公众成员的放射性核素的年摄入量限值由下式计算。

$$ALI=DL/e(g).....式 7-1$$

式中：ALI—放射性核素年摄入量限值，Bq；

DL—公众成员有效剂量的年剂量限值，取 1×10^{-4} Sv；

e(g)—g 年龄组食入和吸入单位摄入量放射性核素后的待积有效剂量，Sv/Bq。

表 7-3 公众成员吸入放射性气溶胶年摄入量限值

核素	$e(g)$ (Sv/Bq)	ALI (Bq)
氟-18	4.20×10^{-10}	2.38×10^5
锶-89	3.90×10^{-8}	2.56×10^3
锝-99m	1.30×10^{-10}	7.68×10^5
碘-131	7.20×10^{-8}	1.39×10^3

注： $e(g)$ 保守按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B7 中最大值查得。

5、放射性固体废物排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），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， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

①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；

②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；

③含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

6、控制剂量率水平

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

②根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

第 6.1.5 点 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，

对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-4 要求。

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

机房类型	机房内最小有效使用面积 (m ²)	机房内最小单边长度 (m)
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

第 6.2.1 点 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-5 要求。

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mmPb)	非有用线束方向铅当量 (mmPb)
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5	

第 6.2.3 点 机房的门和窗关闭时应满足表 7-5 的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

本项目涉及的工作场所位于青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路 5 号海东市第二人民医院病房楼负 2 楼，病房楼主体工程正在建设中，且项目投运后对环境空气、地表水质量、声环境影响较小，因此只对本项目拟建地及周围辐射环境进行了监测，监测报告见附件 5。

1、监测方法与标准

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；
- (3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- (4) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）。

2、监测因子、点位布设及原则

- (1) 环境现状评价对象：核医学科拟建场址及周围的辐射环境；
- (2) 环境监测因子：X- γ 辐射剂量率；
- (3) 点位布设及原则

本项目还未建设，现场监测时，主体工程正在建设，各房间墙体未建，因此，本次在拟建项目所在楼层及楼上楼层进行 X- γ 剂量率的监测，仪器相关参数见表 8-1。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）及《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的要求进行，监测时仪器探头水平距离地面 1m，每组读 10 个数据，读数间隔 10s。拟建场址及周围共布设 6 个点位。监测布点图见图 8-1。

3、 监测仪器

表 8-1 监测仪器一览表

项目	仪器型号及名称	测量范围	有效期至	校准单位及证书编号
X- γ 辐射剂量率	FH40G-X+FHZ 672E-10 型剂量率仪	探头剂量率：1nSv/h~100 μ Sv/h 探头能量范围：30keV-4.4MeV	2025.01.24	中国测试技术研究院/校准字第 202401007249 号
		主机剂量率：10nSv/h~1Sv/h 主机能量范围：30keV-4.4MeV	2025.01.31	中国测试技术研究院/校准字第 202402000131 号

4、质量保证

- (1) 委托的检测机构已通过计量认证，具备相应的检测资质和检测能力；
- (2) 委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；
- (3) 委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内；
- (4) 所有检测人员均通过专业的技术培训和考核，并取得检测上岗证。

5、监测及评价结果

2024 年 9 月 4 日，陕西秦洲核与辐射安全技术有限公司对拟建场址及周围辐射环境开展调查，监测结果见表 8-2。

表 8-2 监测结果

检测点位	检测点位描述	检测结果 μGy/h	备注
1	拟建核医学科 SPECT-CT 机房南侧患者走廊 2	0.084	室内
2	拟建核医学科甲癌病房 2 南侧内部走廊	0.104	
3	拟建核医学科东侧入口处	0.071	
4	拟建核医学科 SPECT-CT 机房北侧医护走廊	0.088	
5	拟建核医学科西侧入口处	0.096	
6	拟建核医学科楼上负一层停车场	0.081	

说明：监测结果已扣除宇宙射线贡献值。

根据表 8-2：本项目核医学科拟建地监测点位的 X-γ 辐射剂量率范围在 0.071~0.104μGy/h 之间，即在 71~104nGy/h 之间，属于当地正常天然本底辐射水平（注：根据生态环境部发布的《2023 年全国辐射环境质量报告》，青海省环境 γ 辐射剂量率自动监测年均值范围为 110~170nGy/h）。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

本项目主体工程施工环境影响已包含在批复的《青海省省级区域医疗中心（海东市）建设项目环境影响报告表》中，本次评价不涉及。

本次评价的核医学科在施工阶段仅为辐射防护装修及安装调试。

1、施工的污染分析

本项目在装修施工阶段主要环境影响为扬尘、废水、噪声、废渣和装修废气等。本项目施工期会对周围声环境质量产生一定影响，但本项目工程量小，施工期短，通过作业时间控制，合理安排好各种噪声施工机具的使用时间，加强施工现场的管理等手段，对周围声环境产生较小的影响，该影响是暂时性的，对周围声环境的影响随施工期的结束而消除。施工所产生的少量生活废水经医院污水处理站处理后排入市政污水管网；在建设施工中采取湿法作业，尽量降低扬尘对周围环境的影响。建设施工所产生的少量施工废渣和设备安装产生的包装废物送当地指定的建筑垃圾处置场。

2、设备安装调试的污染分析

本项目设备的安装及调试阶段主要污染物是包装废弃物、电离辐射。本项目设备的安装和调试应请设备供货方专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在安装调试阶段，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。施工工序及产污见图 9-1。

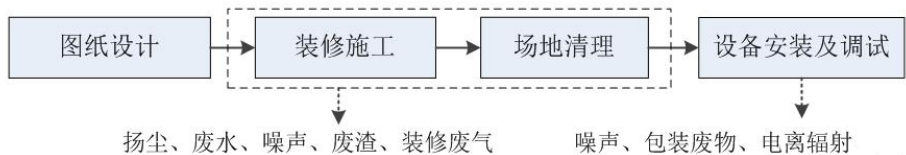


图 9-1 施工期施工工序及产污位置图

二、营运期工艺分析

医院拟在病房楼负2楼核医学科新增1台PET/CT和 1台SPECT/CT，使用氟-18开展 PET显像扫描检查、使用钨-99m开展 SPECT/CT 显像扫描检查，使用碘-131进行

甲功测定、甲癌治疗，使用锶-89进行骨转移癌治疗，使用密封放射源锶-90（V类放射源）进行敷贴治疗。

1、放射性同位素碘-131 的应用

（1）甲状腺吸碘功能测定

①工作原理

甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为碘-127，而碘-131 为其同位素，具有相同的理化性质，但碘-131 具有放射性，在其衰变时发出 γ 射线。因此，给检查者口服一定量的碘-131 后，即被甲状腺所摄取，在体外用特定的 γ 射线探测仪就可测得甲状腺对碘-131 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

②工作流程、产污环节及污染因子

医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订购成品放射性同位素碘-131 胶囊，由药物供货商负责药物运输至核医学科吸碘间冰箱内存储，医生通知患者到进入吸碘间，按配送的药物直接给每个病人口服。

本项目购买成品放射性同位素碘-131 胶囊，无需分装，单粒胶囊为 0.005mCi。甲功测定患者每天最多 20 例，单个碘-131 甲功测定患者最大服药量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ （0.005mCi）。甲功测定患者在吸碘间服药后从核医学科东侧患者出口离开核医学科，2h、4h 和 24h 后返回核医学科的吸碘间进行检查。

治疗流程及产污环节见图 9-2。

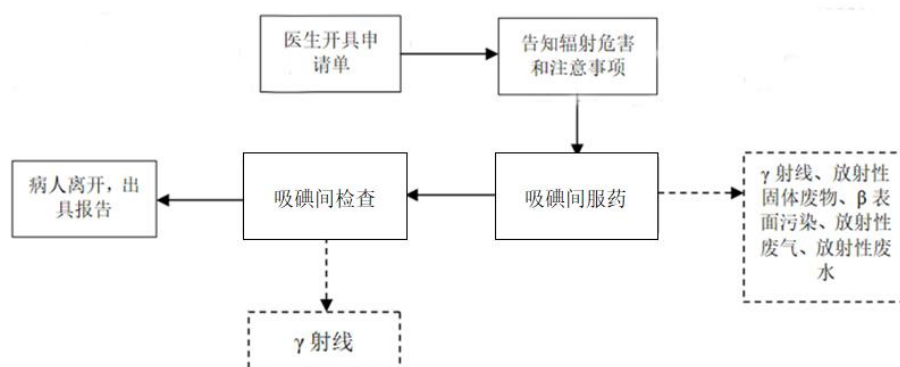


图 9-2 甲功测定流程及产污环节分析示意图

（2）碘-131 治疗甲癌

①工作原理

碘是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过钠/碘共转运子（NIS）克服电

化学梯度从血液循环中浓聚碘-131。碘-131 在甲状腺组织内的有效半衰期约为 3.4d~3.5d，碘-131 衰变发射的 β 射线在组织内平均射程为 1mm，所以 β 粒子携带的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，对甲状腺周围的组织和器官影响较小。由于 β 射线在组织内有一定的射程，将产生“交叉火力”作用，使甲状腺组织不是均匀的接受辐射，腺体中心的组织接受来自四周的辐射，而表面的甲状腺组织则只接受来自甲状腺体内的辐射，甲状腺周围的组织不摄取碘-131，不会对甲状腺表面的组织形成空间的辐射。因此，甲状腺中心部分接受的辐射剂量大于腺体表面，如给予适当剂量的碘[131I]化钠，利用放射性“切除”部分甲状腺组织的同时保留一定量的甲状腺组织，使甲状腺功能恢复正常，根据碘-131 施用量不同分别达到治疗甲亢和甲癌的目的。

②工作流程、产污环节及污染因子

(1) 订药：每天根据病人预约就诊量向供药公司订购碘-131，并由供药公司直接运输到甲癌病房区储源室 1 内。

(2) 接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，并根据病人病情制定碘-131 用药量，工作人员从储源室 1 取出碘-131 然后放入活性室内自动分碘仪，利用自动分碘仪远程将药物进行分装，远程指导患者服药。

(3) 患者通过口服碘-131 进行治疗，甲癌病人服药量为 200mCi，服药后在医护人员的指导下进入单人病房进行住院。甲癌病人出院前需在住院区内使用专用的体表 γ 辐射剂量率仪在距离患者体表 1m 处测量周围剂量当量率水平，当低于 25 μ Sv/h 方可出院。需对患者进行防护告知。

治疗流程及产污环节见图 9-3。

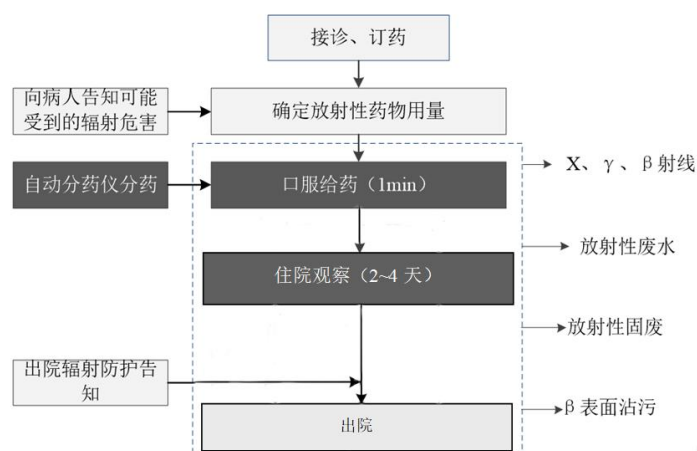


图 9-3 甲癌治疗工作流程及产污环节分析示意图

(3) 工作时间

使用碘-131 开展甲癌治疗患者单人最大用药量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)、甲功测定患者单人最大给药量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ (5 μCi)。

本项目核医学科共设置了 2 间单人甲癌病房，日最大治疗人数为 2 人，甲癌患者办理住院手续后在甲癌病房区住院治疗。

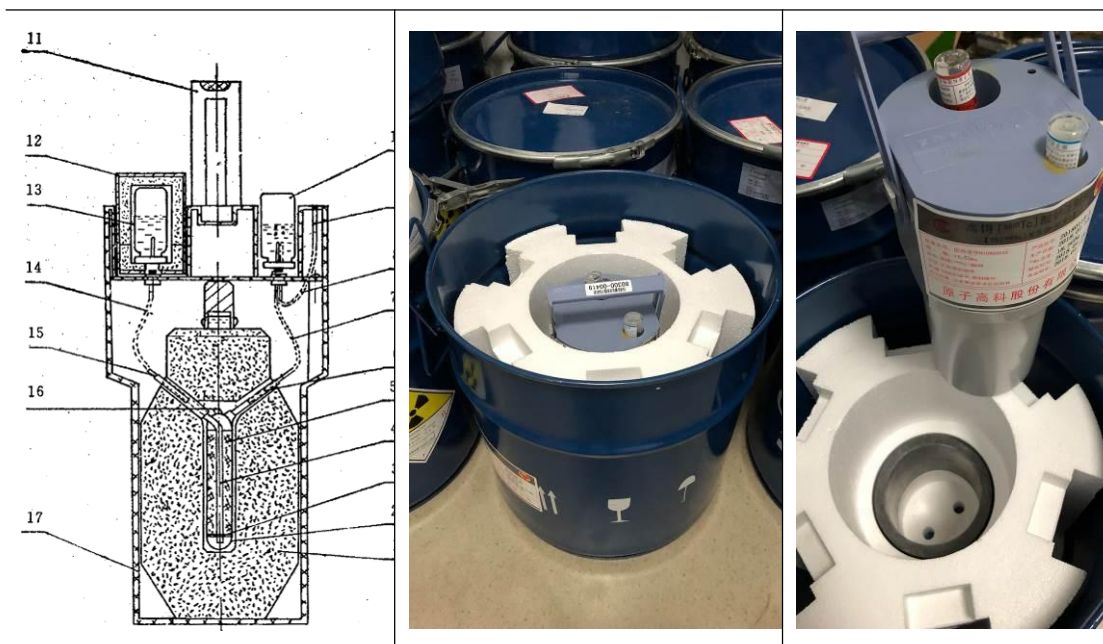
本项目每周五个工作日均开展甲功测定，单日最大诊疗人数为 20 人。

2、放射性同位素钨-99m 用于 SPECT/CT 显像诊断

(1) 诊断原理

① 钨钨发生器淋洗原理

本项目显像诊断使用的钨-99m 由钨钨发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钨酸钨柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。钨-99m 由钨酸钨柱内钨-99 不断衰变产生，并被钨酸钨柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，钨-99m 便以 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 的形式被淋洗出来。为了方便使用，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素，一般情况下，发生器每隔 23 小时可淋洗一次，发生器的内部结构及实景见图 9-4。



组成部件：

1. 发生器铅罐；
2. 吸附柱；
3. 筛板；
4. 淋洗液排出管
5. 钨酸钨柱/活化氧化铝柱；
6. 生理盐水进口接头
7. 连接胶管；
8. 连接胶管；
9. 空气过滤器；
10. 生理盐水瓶；

11.发生器提把；12.钨合金罐；13.淋洗液接收瓶（负压瓶）；14.连接胶管；15.淋洗液出口接头；16.装料管接头；17.塑料外壳。

图 9-4 发生器的内部结构及实景图

②SPECT 显像工作原理

SPECT 即单光子发射计算机断层成像术（Single-Photon Emission Computed Tomography），本项目 SPECT 利用发射单光子的核素药物钨-99m 进行检查。SPECT 的基本结构分三部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT 除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，如：化疗后左心功能、肾功能的改变等。本项目 SPECT 使用钨-99m 放射性核素，将放射性药物钨-99m 引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。SPECT 的基本成像原理是 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。

（2）诊断流程

本项目钨-99m 放射性药物均由医生通过发生器自行进行制备，其制备、注射和显像流程如下：

①订药：每周向供药公司订购钨-99m 发生器一次，单次订购活度为 600mCi，并由供药公司直接运输到核医学科储源室 2。

②淋洗：淋洗分装人员（做好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将钨-99m 发生器转入分装室 2 手套箱内，用酒精消毒，把生理盐水瓶插入钨-99m 发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中，整个过程持续约 5min。

③分装标记：工作人员将上一步制得淋洗液，放置于手套箱内，手套箱配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度。用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积，并室温静置，单次活度测量和标记时间约 1min。

④给药：标记后的钨-99m 给药采用注射方式进行给药，给药量为 25mCi，工作人员做好防护措施，穿铅衣、铅手套等，注射时工作人员和病人采用隔离屏蔽操作，并在注射前告知病人辐射危害，单个病人注射时间约 0.5min。

显像诊断：病人注射完药物后在 SPECT 等候间观察等待 30min，等待结束后得-99m 注射病人进入 SPECT/CT 机房进行显像诊断，该过程医生需进入机房进行摆位，摆位时间约 1min，整个病人显像诊断过程约 20min，诊断结束病人留观 5min 后可直接出院。

⑥校准：为确保 SPECT/CT 的图像精度，需进行均匀性校准，需每周需进行一次得-99m 溶液校准，校准活度为 0.03mCi，单次校准时间 30min。

SPECT/CT 显像诊断流程见图 9-5。

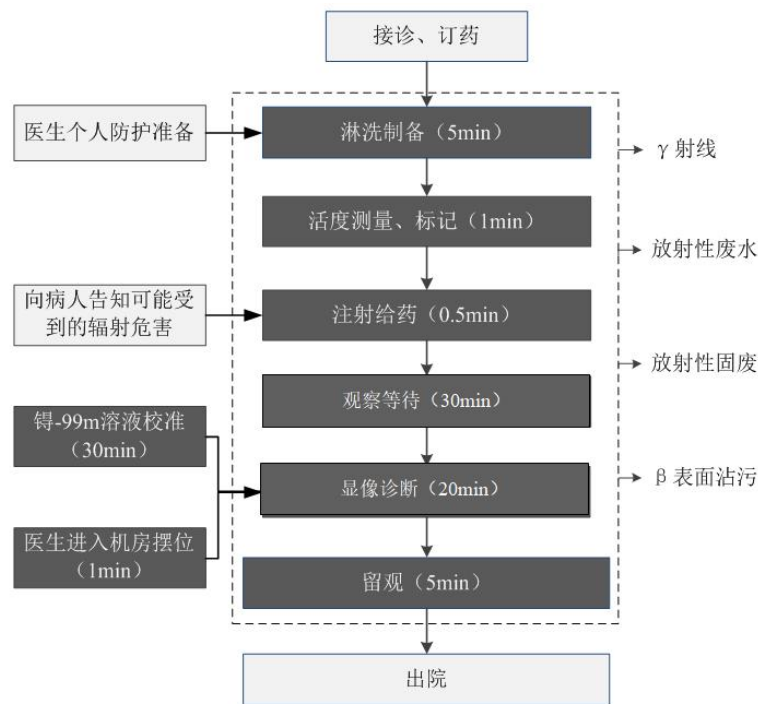


图 9-5 得-99m 显像诊断工作流程图

(3) 工作时间

SPECT/CT 诊断，使用 1 台 SPECT/CT 开展工作，使用得-99m 进行显像诊断，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每日最多诊断 20 人，接受显像诊断的每名患者最大用药量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

3、放射性同位素氟-18 用于 PET 显像诊断

(1) PET 显像工作原理

PET 即正电子扫描仪 (Positron Emission Tomography) 为分子影像设备。氟-18 属于 β^+ 衰变方式，能产生正电子并发生湮灭效应，产生两个能量彼此运动相反的 γ 光子，根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭反应产生光子的强度也不同，然后通过 PET 的 γ 射线探测器环列 (例

如闪烁计数器) 监测 γ 光子辐射的轨迹线, 经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异, 通过计算机断层扫描再成像。

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

(2) 诊断流程

①**订药**: 根据预约的病人量向供药公司订购非密封放射性物质氟-18, 并由供药公司运输到核医学科储源室 2。

②**分装**: 工作人员(做好防护措施, 穿铅衣、铅手套等)将装有放射性核素的铅罐放在手套箱内进行分装, 并测量其分装活度, 单支针剂的分装活度为 10mCi, 分装、活度测量时间约 1min。

③**注射**: 分装后将 10mCi 药物通过注射窗对病人进行药物注射, 注射时, 工作人员和病人采用隔离屏蔽操作, 并在注射前告知病人辐射危害, 单个病人单次注射时间约 0.5min, 每一位病人注射完药物后进入 PET 等候间进行静息观察 30min, 期间禁止人员陪护, 病人不得离开休息室。

④**显像诊断**: 观察时间结束后, 病人进入 PET/CT 机房进行显像诊断, 该过程医生需进入机房进行摆位, 摆位时间约 1min, 整个过程持续约 20min, 诊断结束病人留观 5min 后可直接出院。

⑤**校准**: 为确保 PET/CT 机架图像配准, 保证图像融合精度, 需每个月需进行一次放射源校准, 单次校准时间 30min。

PET 显像诊断流程见图 9-6。

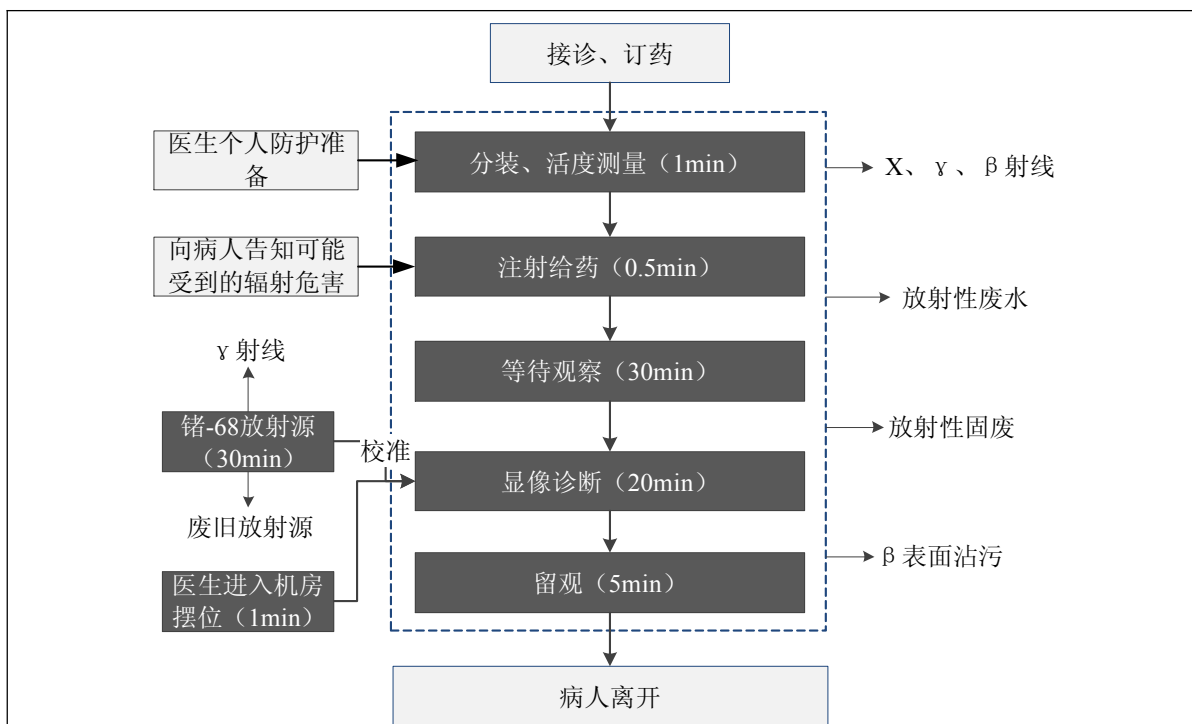


图 9-6 PET 显像诊断工作流程图

(3) 工作时间

PET诊断项目正式开展后，使用1台PET/CT开展工作，使用氟-18进行显像诊断，每年工作250天，每周工作5天，每日最多诊断5人，接受显像诊断的每名患者最大用药量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

4、放射性同位素锞-89 的应用

(1) 锞-89 治疗骨转移癌工作原理

在常见的恶性肿瘤中肺癌、乳腺癌和前列腺癌等常发生骨转移。它们发生骨转移时，肿瘤细胞释放破骨细胞激活因子，后者刺激破骨细胞对骨质的吸收，导致骨溶解破坏的发生。同时，肿瘤细胞能分泌一些致病介质，如前列腺素、乳酸等，导致顽固性疼痛。目前骨转移癌引起的疼痛一般利用放射性药物治疗。治疗时将放射性药物（液体）注入患者体内，由于药物有趋骨性，在骨肿瘤区浓聚最高，并与其中的钙盐结合，减少了体内钙盐的流失；还能降低碱性磷酸酶和前列腺素，有利于减轻骨质溶解，促进骨质修复。同时核素释放的 β 射线和 γ 射线可将肿瘤细胞杀灭，骨膜神经机械性刺激和化学性刺激得以解除，疼痛也就随之减轻或消失，达到治疗作用。

(2) 操作流程、产污环节及污染因子

预约患者，根据患者数量订购锞-89 针剂，由供药公司将放射性药物转入储源室

2, 注射时, 工作人员和病人采用隔离屏蔽操作, 并在注射前告知病人辐射危害, 注射后患者可直接出院。

骨转移癌治疗流程见图 9-7。

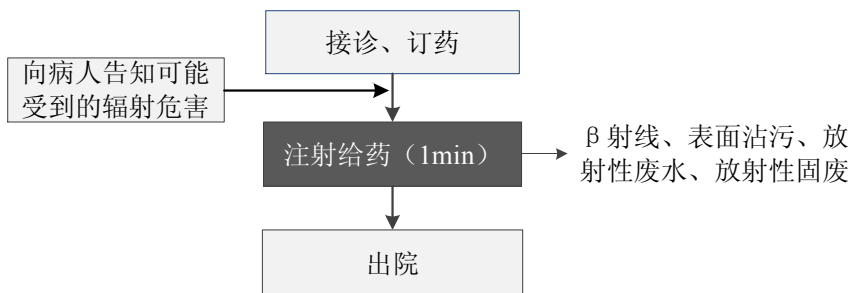


图 9-7 骨转移癌治疗流程及产污环节图

(3) 工作时间

医院预计使用锶-89 进行治疗的患者每天最多 5 例, 每名患者所使用锶-89 的活度不超过 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)。

5、放射性同位素锶-90 的应用

(1) 工作原理

放射性核素皮肤敷贴治疗主要可治疗皮肤斑痕、表皮血管瘤及神经性皮炎等疾病。治疗原理描述如下:

β射线具有较强电离能力、较弱穿透能力的特征, 在组织内的射程仅几毫米。实验证明, 一定剂量的β射线的放射性核素作为一种外照射源紧贴于病变部位, 通过β射线对病变部位的电离辐射生物效应, 可达到治疗目的。根据这一原理设计制造的β射线敷贴器可用于皮肤疾病的治疗。锶-90 半衰期为 28.79a, 衰变方式为纯β衰变, 当其衰变可放出能量为 0.546MeV 的β射线, 从而产生治疗作用。海东市第二人民医院核医学科使用密封放射源锶-90 制成专用敷贴器, 将锶-90 敷贴器贴在病损处进行治疗。

(2) 操作流程、产污环节及污染因子

其主要流程包括病人就诊、治疗方法介绍并告知可能受到的辐射危害、剂量确定、放置敷贴器到病灶部位、回收敷贴器等。

骨转移癌治疗流程见图 9-8。

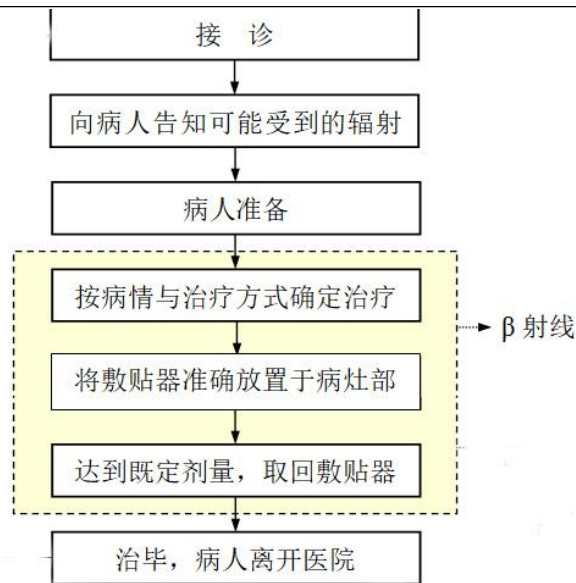


图 9-8 敷贴治疗流程及产污环节图

(3) 工作时间

医院预计使用锶-90 进行敷贴治疗的患者每天最多 5 例，每次治疗时间最长为 10min。

6、工作负荷及人员配置情况

(1) 工作负荷

根据医院工作计划，核医学科正式开展后，每周工作 5 天，每年工作 250 天。

(2) 人员配置情况

本项目核医学科拟安排辐射工作人员共10人，氟-18和锝-99m的分药、注射由2人轮换操作；碘-131（甲吸）的服药和测定由1人操作；锶-90敷贴治疗由1人操作；碘-131（甲癌）由分药仪自动分药，需工作人员取药、给药，由2人轮换操作。此外，设置2名PET/CT操作人员，2名SPECT/CT操作人员，负责设备的出束、校准以及患者的摆位。

污染源项描述

一、施工期工艺分析

本项目主体工程施工环境影响已包含在批复的《青海省省级区域医疗中心（海东市）建设项目环境影响报告表》中，本次评价不涉及。

本项目施工期主要是场所装修施工阶段和设备安装、调试阶段。

1、施工阶段

本项目装修施工期主要环境影响因素为噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑垃圾等。

2、设备安装、调试阶段

本项目设备安装调试阶段，主要环境影响为电离辐射影响。

二、运行期正常工况污染源分析

1、电离辐射

根据核医学科涉及使用的放射性核素，运行过程可产生的电离辐射包括：X、 β 、 γ 射线。

2、放射性废水

本项目碘-131 用于甲功测定以及锝-99 治疗骨转移癌的治疗时间较短，服药/注射后无特殊情况即可离开医院，在服药前工作人员将提前告知其进行如厕，诊疗期间不使用工作场所内的厕所，故不考虑其产生的放射性废水。本项目氟-18、锝-99m 显像诊断病人均不需要进行住院观察，所以在注射后候诊过程中产生的废水主要来源于少量排泄废水、清洗废水，根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），门诊病人用水定额取（10L/次·人）；碘-131 甲癌病人由于需要进行留院观察，观察期间产生的废水主要来源于排泄废水及洗澡用水，根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），住院病人（设单独卫生间）用水定额取（220L/次·人）。本项目核医学科放射性废水产生情况见表 9-1。

表 9-1 核医学科放射性废水排放汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	用水量 (L/d·人)	排放量 (L/d·人)	日最大病 人数 (人)	日产生量 (L/d)
锝-99m	6.02h	排泄、清洗	10	10	20	200
氟-18	109.7min	排泄、清洗	10	10	5	50

碘-131 (甲癌)	8.04d	排泄、淋浴	220	220	2	440
工作人员及场所清洗废水			100L/d			100
合计						790 (0.79m³/d)

3、放射性固体废物

①氟-18、锝-99m、锶-89 采取注射的方式进行给药，产生的固废废物包括：一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等，产生量约 50g/人·次。此外还有使用过的钼铈发生器，产生量约 50 个/a。

②碘-131 甲吸、甲癌治疗采取口服的方式进行给药，产生的固体废物包括：使用过的一次性口杯、擦拭纸巾，其产生量大约为 50g/人·次。同时住院病人每天还会产生生活垃圾，产生量约 1kg/d·次。

③本项目核医学科场所排风口设置有活性炭过滤器，建设单位将每半年进行校正和更换，产生量约 100kg/a。

④锶-89 放射源每隔一定时间更换一次，更换时将产生废锶-89 放射源，直接由生产厂家回收。

根据前述分析，放射性固废产生情况见表 9-2。

表 9-2 核医学科放射性固废汇总表

核素名称	产生来源	产生量 (g/d·人)	日最大病人 人数 (人)	日产生量 (kg/d)
碘-131 (甲吸)	一次性口杯、擦拭纸巾等	50	20	1
碘-131 (甲癌)	一次性口杯、擦拭纸巾、餐盘等	1000	2	2
锝-99m	一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等	50	20	1
氟-18	一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等	50	5	0.25
锶-89	一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等	50	5	0.25
锶-90 放射源	废旧放射源	1 枚	/	/
合计				4.5

4、放射性废气

核医学科涉及使用氟-18、锝-99m、锶-89 均属于液态放射性药物，且均属于非挥发性化合物，均采用负压瓶进行密封储存，在分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉注射进入病人体内，在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥

发量较小，其挥发量按 0.1‰计。碘[碘-131]化钠属于易挥发性化合物，且在操作过程中存在裸露液面，本次评价仅考虑碘-131 气溶胶的环境影响，环境空气中碘-131 气溶胶来源于分装和服药过程的挥发量以及病人住院期间的呼出量，根据《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP 94 号出版物）对于放射性碘治疗的情况，考虑 0.2%施予活度排放到环境空气中。

表 9-4 放射性气溶胶挥发量核算表

核素	日最大操作（Bq）	日最大挥发量（Bq）
氟-18	3.70×10^9	3.70×10^5
锝-99m	2.22×10^{10}	2.22×10^6
锶-89	7.40×10^8	7.40×10^4
碘-131	1.48×10^{10}	2.96×10^7

5、β放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素碘-131、锝-99、钼-99、氟-18、锶-89 的各种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的β放射性表面污染。

氟-18、锎-99m 显像患者流通路径：患者电梯厅→候诊区→护士站→患者通道→注射室注射窗口→PET/CT 等候间或 SPECT/CT 等候间→PET/CT 机房或 SPECT/CT 机房→留观室→患者出口乘坐电梯离院。

锶-89 骨转移癌患者流通路径：患者电梯厅→候诊区→护士站→患者通道→注射室注射窗口→患者出口乘坐电梯离院。

碘-131 甲功测定患者流通路径：患者电梯厅→候诊区→护士站→病人通道→吸碘间→患者通道→原路返回离院。

锶-90 敷贴患者流通路径：患者电梯厅→候诊区→护士站→病人通道→敷贴室→原路返回离院。

该区域病人通道入口和病人通道出口设置单向门禁系统。

技师流通路径：医护通道→控制室，就诊结束后医生原路返回。

医生流通路径：医护通道→更淋→分装室 2→储源室 2→分装室 2（分装、注射），给药后医生原路返回，返回时需在更淋处进行表面沾污监测，监测合格后才能离开。

放射性药物流通路径：放射药物由生产厂家在接诊病人前进行送货，东北侧电梯厅→医护走廊→更淋→分装室 2→储源室 2，医生进行分装时，直接就近从储源室 2 转入分装手套箱内。

放射性固废流通路径：放射性固废是在暂存衰变经监测达标后从放废间 2 中取出，在下班时经患者走廊由东北侧电梯转运进入医院医疗废物暂存间。

B、甲癌病房区平面布局及人流物流布置

甲癌病房区整体呈东西向布置，西侧北部为污物间 1、储源室 1、分装室 1、服药间；南半部分从西往东方向根据诊断流程依次布置：护士站、治疗室、甲癌病房 1、甲癌病房 2、衣物间、监测室、污物间。

甲癌病人流通路径：患者电梯厅→候诊区→护士站→病人通道→服药间→甲癌病房→检测间→患者出口乘坐电梯离院。

医生流通路径：医护通道→更淋→分装室 1→储源室 1→分装室 1→更淋→办公室，给药后医生原路返回，返回时需在更淋处进行表面沾污监测，监测合格后才能离开。工作人员在上班前将药罐放在服碘间的自动分装仪内，然后利用自动分碘仪远程将药物进行分装，远程指导患者服药。

放射性药物流通路径：放射药物由生产厂家在接诊病人前进行送货，东北侧电

梯厅→医护走廊→更淋→分装室 1→储源室 1，工作人员在上班前将药罐放在服碘间的自动分装仪内，然后利用自动分碘仪远程将药物进行分装。

放射性固废流通路径：放射性固废是在暂存衰变经监测达标后从放废间 1 中取出，在下班时经患者走廊由东北侧电梯转运进入医院医疗废物暂存间。

本项目核医学科人流、物流路径示意图见附图 6。

2、场所平面布局及人流物流合理性分析

A、本项目核医学科病人通道门和医生通道门均设置有门禁系统，非辐射工作人员和非诊疗病人不能直接进入该区域范围内，且医生通道和病人通道分开独立设置，其中病人通道还设置单向门禁，并控制诊疗病人流通范围，有效减小辐射环境范围，同时根据上述分析，病人与医生在流通过程中互不交叉，减少用药病人对医生的二次照射影响。

B、核医学科内病人用药后候诊区、留观区和病房区均布置有独立卫生间且设置独立下水，同时淋浴间也设置独立下水，实现核医学科放射性废水和非放射性废水分流。

C、本项目衰变池设置在病房楼东北侧绿化带内（拟设置栅栏进行隔离），衰变池布置已避开人流较大的门诊入口和住院入口，所在位置设置实体隔离措施，较为独立，整个核医学科放射性废水通过独立管道引入该衰变池内，且衰变池池体和下水管道均采用实体措施进行防护，对周围辐射环境影响较小，其布置是合理的。

D、核医学科各诊疗场所邻近分装室集中布置，放射性废物和放射性药物在场所内部的流程路径较短，减少辐射环境影响范围，放射性药物和放射性固废采用时间隔离的方式进行分流，避免放射性药物、放射性固废与病人、医生交叉，同时避开了医院人流量较大的时段和区域。

表 10-1 核医学科平面布局与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对照分析一览表

标准要求	设计落实情况	备注
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。	①本项目核医学科甲癌病房与其他区域已分开布置设计；②核医学科高活区域已采取集中布置设计，且布置于核医学科的一端，可防止交叉污染；③本项目已设置独立的放射性药物储源室和放射性废物间，同时整个场所设置单向门禁系统可有效控制给药后患者的活动空	满足

	间。	
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。	本项目设置有独立的工作人员和患者通道，可以避免医生病人交叉影响，同时针对放射性药物和放射性废物采取时间隔离措施，避免交叉影响，且储源室和放射性废物间采取集中布置，减小流通路径。	满足
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。	①本项目核医学科设置有独立的病人用药后的留观室和病人住院病房，同时场所内设置病人单向流通门禁系统，可有效控制病人流动范围，避免工作人员和公众收到不必要的照射；②控制区出入口已设计工作人员卫生通过区域和缓冲区，并配备工作人员使用的更淋间和表面沾污监测设备，辐射工作人员需经过表面沾污监测→合格→更衣流程后离开；③核医学科已设计有给药后患者的专用卫生间，针对用药病人排泄废水的收集采用独立下水管道排入衰变池收集衰变。	满足

综上所述，本项目核医学科布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），整个核医学科位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全的角度考虑，本项目平面布置及人流、物流路径是合理的。

2、工作区域管理

（1）两区划分

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴标明监督区的标志，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。

根据 GB18871 的分区原则和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）辐射工作场所分区的相关要求，将高辐射和可能发生高污染的区域划定为控制区，控制区外较低辐射区域划分为监督区，监督区的边界设置标明警示牌，禁止辐射工作人员以外的其他无关人员进入监督区范围。

根据上述要求，本项目核医学科控制区和监督区划分情况见表 10-2，划分示意图见附图 9。

表 10-2 本项目“两区”划分一览表

工作场所	控制区	监督区	备注
核医学科	敷贴室、吸碘间、储源室 2、污物间 2、分装室 2、注射室 1、注射室 2、运动/抢救室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、污洗间、储源室 1、污物间 1、分装室 1、服药间、SPECT 等候间 1、SPECT 等候间 2、PET 等候间、留观室、甲癌病房 1、甲癌病房 2、衣物间、监测室、污洗间 2 及区域内走廊、衰变池上方区域	控制室、设备间、气瓶间、污泵间、护士站/值班、治疗室、医护走廊及出口走廊。	控制区内禁止外来人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量不要在控制区内停留，以减少不必要的照射。监督区范围内应尽量限制无关人员进入。 另本次环评要求：核医学科新建衰变池所在位置应采用栅栏封闭管理，防止无关人员进入，并张贴电离辐射警示牌。

（2）控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志；



图 10-2 电离辐射标志和电离辐射警告标志图

- ②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；
- ④备有个人防护用品、工作服和被污染防护衣具的贮存柜；
- ⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施。

（3）监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区为边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

建设单位应严格按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，结合医院实际情况，加强控制区和监督区的监管。

3、分级

根据建设单位提供资料，本项目核医学科预计病人就诊情况如下：

表 10-3 核医学科就诊病人量情况

核素	单个病人最大用量（mCi/ 人 •次）	日最大病人量（人）	年最大病人量（人）
碘-131（甲功）	0.005	20	2000
碘-131（甲癌）	200	2	100
锝-99m	25	20	2000
氟-18	10	5	500
锶-89	4	5	500

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表 10-4。

表 10-4 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/（Bq）
----	---------------

甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 10-5、表 10-6。

表 10-5 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 10-6 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

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D“放射性核素的毒性分组”，本项目所使用的放射性核素毒性分组见表 9-3。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (\text{式 10-1})$$

按照表 10-5、表 10-6，放射性同位素日等效操作量修正因子列入表 10-7 中。根据本项目核医学科非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定出本项目核医学科非密封放射性物质工作场所级别。具体见表 10-7。

表 10-7 本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分级

工作场所	核医学科					
核素名称	^{131}I (甲功)	^{131}I (甲癌)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{99}Mo	^{18}F	^{89}Sr
日最大操作量 /Bq	3.70×10^6	1.48×10^{10}	2.22×10^{10}	2.22×10^{10}	3.70×10^9	7.40×10^8
毒性分组	中毒	中毒	低毒	中毒	低毒	中毒

毒性修正因子	0.1	0.1	0.01	0.1	0.01	0.1
性状	液态	液态	液态	液态	液态	液态
操作方式	简单操作	简单操作	简单操作	贮存	很简单的操作	简单操作
方式与状态修正因子	1	1	1	100	10	1
日等效最大操作量/Bq	3.7×10^5	1.48×10^9	2.22×10^8	2.22×10^7	3.70×10^6	7.40×10^7
合计日等效最大操作量/Bq	1.80×10^9					
工作场所级别	乙					

备注：①核素毒性分组按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D 查得；

②钼锝发生器购买规格为 0.6Ci（母体核素 ^{99}Mo 的初始活度为 0.6Ci），则 ^{99}Mo 的日最大操作量为 2.22×10^{10} Bq；钼锝发生器操作时，会一次性将 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 全部淋洗出来再分装标记，钼锝发生器单次淋洗效率按 100%计，则钼锝发生器第 1 天最大淋洗量为 0.6Ci（ 2.22×10^{10} Bq），因此，本项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的淋洗、分装、标记环节日最大操作量为 2.22×10^{10} Bq；

③根据中华人民共和国环境保护部办公厅文件《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），医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”；本项目 ^{18}F 从药厂购买，考虑 ^{18}F 半衰期较短，按日使用量的 2 倍备药，则日使用量为 100mCi（ 3.70×10^9 Bq）。

综上，本项目核医学科非密封放射性物质工作场所等级为乙级。

4、分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）核医学的开放型工作场所根据操作放射性核素的权重活度分为三类，见表 10-8。

表 10-8 临床核医学工作场所分级

分级	权重活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：权重活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重系数）/操作性质修正系数
本项目放射性核素毒性权重系数和操作性质修正系数见表 10-9 和 10-10。

表 10-9 核医学常用放射性核素的毒性权重系数

类别	放射性核素	权重系数
A	^{131}I 、 ^{99}Mo	100
B	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	1

表 10-10 不同操作性质的修正系数

操作方式和地区	修正系数
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、分装以及给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

表 10-11 本项目拟使用核素权重活度结算结果

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	操作性质修 正系数	核素毒性 权重因子	计算结果 (Bq)	合计结果 (MBq)	场 所 类 别
核 医 学 科	分装室 2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.22×10^{10}	1	2.22×10^{10}	2.59×10^4	II
		^{18}F	3.70×10^9	1	3.70×10^9		
	储源室 2、 放废间 2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.22×10^{10}	100	2.22×10^8	2.32×10^4	II
		^{99}Mo	2.22×10^{10}	100	2.22×10^{10}		
		^{89}Sr	7.40×10^8	100	7.40×10^8		
		^{18}F	3.70×10^9	100	3.70×10^7		
	注射室 1、 注射室 2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.22×10^{10}	1	2.22×10^{10}	9.99×10^4	I
		^{89}Sr	7.40×10^8	1	7.40×10^{10}		
		^{18}F	3.70×10^9	1	3.70×10^9		
	分装室 1	^{131}I	1.48×10^{10}	1	1.48×10^{12}	1.48×10^6	I
	储源室 1、 放废间 1	^{131}I	1.48×10^{10}	100	1.48×10^{10}	1.48×10^4	II
	服药间	^{131}I	1.48×10^{10}	1	1.48×10^{12}	1.48×10^6	I
	SPECT/CT 机房、 SPECT 等 候间 1、 SPECT 等 候间 2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.22×10^{10}	10	2.22×10^{11}	2.22×10^5	I
	PET/CT 机 房、PET 等 候间	^{18}F	3.70×10^9	10	3.70×10^{10}	3.70×10^4	II
	甲癌病房	^{131}I	1.48×10^{10}	1	1.48×10^{12}	1.48×10^6	I
	吸碘间	^{131}I	3.7×10^6	1	3.7×10^8	3.7×10^2	II

根据表 10-11 计算结果，可以得出不同级别工作场所室内防护要求，见表 10-12。

表 10-12 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	工作场所	地面	表面	分装柜	通风	管道 ^①	清洗及去污设备
I	注射室 1、注射室 2、分装室 1、服药间、SPECT/CT 机房、SPECT 等候间 1、SPECT 等候间 2、甲癌病房	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强制通风	特殊的管道	吸收盆 ^② 和去污设备
II	分装室 2、储源室 2、放废间 2、储源室 1、放废间 1、PET/CT 机房、PET 等候间、吸碘间	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	吸收盆 ^② 和去污设备
^① 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修。 ^② 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。							

综上所述，注射室 1、注射室 2、分装室 1、服药间、SPECT/CT 机房、SPECT 等候间 1、SPECT 等候间 2、甲癌病房需达到 I 级场所防护要求；分装室 2、储源室 2、放废间 2、储源室 1、放废间 1、PET/CT 机房、PET 等候间、吸碘间需达到 II 级场所防护要求。

根据场所各级防护要求，本项目核医学科具体设计情况见表 10-13。

表 10-13 本项目非密封放射性物质工作场所防护设计落实情况

工作场所	地面	工作台面	手套箱	室内通风	管道	清洗及去污设备
核医学科	地面采用 PVC 地面，墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，并具有易去污，受辐照后不易老化，且防水。	分装操作台设置易清洗不锈钢台面	分装室 2 内设置 1 个手套箱，保持负压状态	已设计独立排风系统，引至病房楼楼顶排入大气环境，排气筒高出屋面，通排风管道不对非核医学科开放接口	已设计独立下水系统，连接至并联衰变池，大水流管道有标记以便维修	洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制；拟设置表面沾污检测设备，和去污设备

10.2 项目防护措施

本项目非密封放射性物质工作场所采取的辐射防护与放射性污染防治措施主要包括以下方面：

1、建筑物屏蔽设计

表 10-14 本项目核医学科各房间拟采取屏蔽防护设施一览表

场所名称	四周墙体材料	顶面材料	防护观察窗	防护门
核素诊断治疗区				
更淋	24cm 混凝土实心砖 +4cm 硫酸钡水泥	25cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡水泥	/	6mmPb 的防护门
储源室 2				
污物间 2				
分装室 2			25mmPb 的铅玻璃	
注射室			/	
运动/抢救室				
PET 等候间				
SPECT 等候间				
SPECT 机房			6mmPb 的铅玻璃	
PET-CT 机房	24cm 混凝土实心砖 +6cm 硫酸钡水泥	25cm 混凝土 +4.5cm 硫酸钡水泥	8mmPb 的铅玻璃	8mmPb 的防护门
留观室	24cm 混凝土实心砖 +4cm 硫酸钡水泥	25cm 混凝土 +2.5cm 硫酸钡水泥	/	6mmPb 的防护门
吸碘间				
敷贴室				
甲癌病房区				
更淋	24cm 混凝土实心砖 +10mmPb 铅板	25cm 混凝土 +7.5cm 硫酸钡水泥	/	16mmPb 的防护门
储源室 1				
污物间 1				
分装室 1				
服药间			25mmPb 的铅玻璃	
甲癌病房			/	
衣物间				
监测室				
污洗间				

备注：顶面硫酸钡水泥做在其上一层地面。

根据后续章节计算，其屏蔽设计满足《核医学辐射防护与安全要求》

(HJ1188-2021)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 $10\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求。

PET/CT机房设计建筑面积为 43.3m^2 ,净空尺寸为 8.5m (长) $\times 5.1\text{m}$ (宽) $\times 3.7\text{m}$ (高),四周墙体为 24cm 混凝土实心砖+ 6cm 硫酸钡水泥,顶板为 25cm 混凝土+ 4.5cm 硫酸钡水泥,防护门为 8mmPb 的防护门,观察窗为 8mmPb 的铅玻璃。SPECT/CT机房设计建筑面积为 44.2m^2 ,净空尺寸为 8.5m (长) $\times 5.2\text{m}$ (宽) $\times 3.7\text{m}$ (高),四周墙体为 24cm 混凝土实心砖+ 4cm 硫酸钡水泥,顶板为 25cm 混凝土+ 2.5cm 硫酸钡水泥,防护门为 6mmPb 的防护门,观察窗为 6mmPb 的铅玻璃。

PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房通排风管道及电缆穿墙采用直穿的方式,并在穿墙前后用 4mm 铅皮包裹进行补偿,不影响机房机体屏蔽效果。为减少接缝处射线的泄漏,要求各机房防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

表 10-15 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽体折算厚度计算表

机房	屏蔽体	材质	折算厚度	铅当量厚度 (mm)
PET/CT 机房	墙体	24cm 混凝土实心砖+6cm 硫酸钡水泥	20.4cm 混凝土+7.7cm 混凝土*	4.57
	顶板	25cm 混凝土+4.5cm 硫酸钡水泥	25cm 混凝土+5.7cm 混凝土*	5.01
SPECT/CT 机房	墙体	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	20.4cm 混凝土+5.1cm 混凝土*	4.14
	顶板	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥	25cm 混凝土+3.2cm 混凝土*	4.59

*注:《放射性诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中未给出混凝土实心砖和硫酸钡水泥在管电压 140kV 时对CT的等效铅当量厚度。根据《放射卫生学》P141,混凝土实心砖和硫酸钡水泥属于低原子序数(<56)物质组成材料,可以采用密度比($d_{\text{混凝土}}=d_{\text{材料}} \times (\rho_{\text{材料}}/\rho_{\text{混凝土}})$)换算成混凝土的厚度;本项目混凝土密度为 2.35g/cm^3 ,硫酸钡水泥密度为 3.0g/cm^3 ,混凝土实心砖的密度为 2.0g/cm^3 。

表 10-16 SPECT/CT、PET/CT 机房铅当量计算参数表

材质	厚度 (cm)	α_1	β_1	γ_1	α_2	β_2	γ_2	铅当量厚度 (mm)
混凝	28.1	0.0336	0.0122	0.519	2.009	3.990	0.342	4.57

土	30.7						5.01
	25.5						4.14
	28.2						4.59

PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房屏蔽设计均满足《放射诊断防护要求》（GBZ130-2020）规定的CT机房最小有效使用面积30m²和最小单边长度4.5m要求，同时满足2.5mm铅当量防护厚度要求。

2、储存过程的防护措施

本项目外购的钼铯发生器规格为 0.6Ci。订购的钼铯发生器由生产厂家先运至核医学科储源室 2 内。

本项目单日购买氟-18 罐装溶液最大规格为 0.1Ci，罐装溶液外购时，自身带有 40mm 铅当量钨合金屏蔽层，由生产厂家先运至核医学科储源室 2 内。

本项目单日购买锶-89 注射针剂，单针规格为 4mCi，日最大量为 5 针，锶-89 注射针剂自身带有 2mm 铅套筒。订购的锶-89 注射针剂由生产厂家先运至核医学科储源室 2 内。

本项目单日购买碘-131 罐装溶液最大规格为 400mCi，罐装溶液外购时，自身带有 20mm 铅屏蔽层，订购的碘-131 由生产厂家运至核医学科储源室 1 内。

本项目敷贴治疗用的锶-90 放射源为成品敷贴器，储存于核医学科储源室 2 内，且放射源外面有不锈钢包壳，放射源的存取由技师操作，退役放射源由生产厂家回收。

为保证放射性药品的安全储存，储源室内设置双人双锁储源保险柜，分装、注射结束后的剩余放射性药物由工作人员转运至储源室储源柜中暂存，并建立放射性药物存取台账。

3、操作过程的防护措施

①放射性药品 ^{99m}Tc、¹⁸F、⁸⁹Sr 的操作防护

^{99m}Tc、¹⁸F 的分装操作均在分装室手套箱内完成，该手套箱正对操作人员方位为 55mm 铅当量屏蔽体，操作窗为 55mm 铅当量铅玻璃，非正对操作人员方位及上下均为 45mm 铅当量屏蔽体，内设 55mm 铅当量活度测量井。分装后的药物装于外套 5mm 铅当量铅套的注射器内，注射时隔着 25mm 铅当量的铅玻璃进行注射。

操作过程中产生的放射性废物采用 10mm 铅当量铅桶分核素种类收集屏蔽，待

铅桶收集满，由护士把口袋提到放废间 1 暂存。操作过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等，其防护铅当量为 0.5mm。

表 10-17 核素诊断治疗区辐射屏蔽设施

名称	数量	铅当量	拟设置场所
手套箱	1	正面 55mm 铅当量，操作窗为 55mm 铅当量铅玻璃，其他面为 45mm 铅当量	分装室 2
注射器防护套	2	3ml, 1 个, 10mmPb 5ml, 1 个, 10mmPb	分装室 2
铅玻璃	1	25mmPb	分装室 2
废物桶	3	10mmPb	分装室 2 设置 3 个(按核素种类收集)
铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾	4	0.5mm	/

②放射性药物 ^{131}I 的操作防护

本项目在甲癌病房区分装室 1 内设置全自动核素分装仪进行碘-131 的分装操作。分装操作前医生先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，然后从储源室 1 取出碘-131 装入全自动核素分装仪，该仪器自带内部屏蔽系统（具有 20mm 铅当量），医生只需在输入厂家标定的碘-131 放射性药物活度、标定时间等参数，设定稀释蒸馏水的体积，系统会自动完成定量分配、在线活度测量和体积配比等全部工作。最后医生在计算机上输入病人姓名，服用药物的量等参数，系统会自动按照输入的药量给病人分装药物，减少了医生分装过程接触时间，在整个分装和取药过程设置了严密的监控系统和报警系统，以防止误入或误操作导致药品撒漏和丢失。分装后由病人自行在服药间给药窗口取药服用，给药窗口旁设置 1 个放射性废物收集桶（10mm 铅当量），用于收集服药病人废弃的纸杯等。甲癌病人服药后进入住院病房。

表 10-18 甲癌病房区辐射屏蔽设施

名称	数量	铅当量	拟设置场所
自动核素分装仪	1	20mmPb	分装室 1
放射性废物收集桶	3	10mmPb	服药窗口旁 1 个，每间病房各 1 个
铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾	1	0.5mm	/

4、对服药和注射后病人防护措施

用药病人在入院前及出院前，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性，就诊病人在用药后均实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管控，用药病人候诊和留观期间禁止病人随意流动，尽量控制因吐痰或随意丢弃垃圾等行为造成的表面污染范围，并使用病人专用厕所进行大小便，在留观结束后须按指定线路离开核医学科。

对于甲癌住院患者除采取上述措施外，在住院期间还应采取封闭隔离措施，甲癌走廊内安装视频监控，将甲癌患者流动区域限制在病房区域，患者住院期间使用专用卫生间进行淋浴和大小便，病房内设置对讲和监控等设置，避免工作人员和甲癌患者接触，住院患者住院期间应减少放射性废物产生，患者食物宜采用产生废物少的食材，住院患者使用过的被服应先在污洗间存放衰变 1 个半衰期后才能进行清洗，甲癌病人出院前应对病人进行监测，确保体内活度 $\leq 400\text{MBq}$ 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率 $\leq 25\mu\text{Sv/h}$ 后方可出院，病人出院时应按指定路线和出院通道离开核医学科。

10.3 项目辐射安全措施

1、核素诊断治疗区的辐射安全措施

A. 电离辐射警告标志

医院计划在核素诊断治疗区工作场所控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房受检者防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

B. 急停按钮

在控制台上、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的急停按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动急停按钮即可令 PET/CT 和 SPECT/CT 停止运行。

C. 操作警示装置

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时，操纵台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

D. 视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核素诊断与治

疗工作场所进出/口情况；PET/CT 机房和控制室之间，SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置于机房内受检者联系。

E.门禁系统

在核素诊断与治疗工作场所受检者各出入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

F.注射后等候区设置患者专用厕所，废水流向衰变池内。

G.对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

H.“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

I.储源室红外报警系统

储源室拟设置双人双锁的保险柜，使用的放射性药物放置于铅罐中由供应单位派专人直接送至储源室暂存，未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

2、甲癌病房区的辐射安全措施

A.医院 ^{131}I 采用碘自动分装仪，置于分装室 1 内。

B.医院对 ^{131}I 的自动分装、给药、服药、病人走入病房等全程采取监控措施。

C.甲癌病房均设置患者专用厕所，废水直接流向衰变池。病房涉及的洗手台/盆均拟采用感应式水龙头，设置病人专用厕所，厕所内均拟设置节水坐便器和淋浴装置。

D. 甲癌病房区出入口、铅废物桶表面拟设置符合 GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志。

E.严格控制甲癌患者的活动空间，禁止走出病房。甲癌病房、走廊的监视器拟设置于护士站内，医护人员全程监视控制区内情况。

F.住院区设置动力排风装置，并保持良好的通风。

G.医院在住院区控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

H.医院应做好住院区控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

I.工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

3、本项目核医学科储源室的安全措施

本项目使用的放射性同位素均由有资质单位供应，由厂商经护士站进入核医学科储源室，并贮存于室内的双人双锁保险柜中，本项目储源室外均设置有红外监控摄像头及红外报警装置，防止放射性物品被盗或破坏。

储源室墙体满足防护要求，采取了防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。

建设单位应做到：

①放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽。放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分；

②储源室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员禁止进入；

③放射性药物要有进出登记，包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等，建立放射性同位素台帐制度；

④医院应建立完善的放射性核素贮存、领取、使用、归还登记和检查制度，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整。

4、表面沾污防治措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，提出以下管理措施和要求：

①针对放射性核素的分装操作（特别是挥发的药物）采用负压隔离的方法进行防护，即本项目设置手套箱把放射性核素局限在某一空间内操作，防止放射性核素逸散到分装室内。

②非密封放射性物质工作场所地面采用环氧树脂自流平地面，墙面与地面交接

作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15～25cm，且地面光滑，并具有易去污和防渗能力（渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s）。

③对于放射性核素的分装过程中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，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，且严禁工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

④每天操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应及时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污废水和擦拭纸等均需按放射性废物管理。

⑤辐射工作人员在进行实验前应做好个人防护用品的佩戴，包括：防护工作服、帽子、鞋子、手套、袖套、围裙、口罩、防护眼镜、个人剂量计、个人剂量报警仪等，在完成实验后按指定人员通道离开，同时更衣区设置表面沾污监测仪，并经过“洁衣剂量检查（监测不合格需经过“去污”过程）→脱洁衣→穿家常服→穿家常鞋→出口”的流程。

⑥所有辐射工作人员上岗前应经过专业培训，并熟悉自己岗位的操作流程，并具备相应的技能与防护知识，管理人员需定期进行检查，严禁人员违规操作。

⑦用药病人在入院前及出院前，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性，就诊病人在用药后均实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管控，用药病人候诊和留观期间禁止病人随意流动，尽量控制因吐痰或随意丢弃垃圾等行为造成表面污染范围，并使用病人专用厕所进行大小便，在留观结束后须按指定线路离开核医学中心。

5、工作场所的气流组织

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

本项目使用的放射性核素在带有通风装置的手套箱或自动分装仪内进行分装，会产生少量含放射核素的气溶胶。

本项目核医学科设置有新风系统及排风系统，整个区域气流是从监督区流向控制区，并保证了工作场所均为负压工作场所。

6、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检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。

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辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作时间，使照射时间最小化。

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。

②其他人员防护

屏蔽防护：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。

时间防护：设置明显的警示措施，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。

距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

10.4 辐射工作场所安防措施

为确保本项目所使用的放射源、射线装置和非密封放射性物质工作场所的辐射安全，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，放射性同位素贮存场所还应当采取防火、防盗、防丢失、防破坏、防泄漏的安全措施，本项目针对辐射工作场所拟采取的辐射安全保卫措施见表 10-19。

表 10-19 核医学科安防措施一览表

工作场所	措施类别	对应措施
核医学科	防火	核医学科安装有烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2018），本项目核医学科区域禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器。

	防水	本项目核医学科距离地表水体距离较远，不受地表水体影响，同时整个核医学科地面铺设环氧树脂自流平地面，墙面与地面交接作圆角处理，防止放射性污染物渗漏。
	防盗、防抢和防破坏	①整个核医学科控制区进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入核医学科内； ②各个非密封放射性物质储存场所储存场所设置双人双锁，非密封放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理； ③整个核医学科控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实施监控，并将核医学科作为保安人员重点巡查范围。
	防泄漏	①本项目使用的各种放射性核素药品均来自正规生产厂家，出厂时包装用铅罐密闭，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源室内待厂家进行回收； ②核医学科非密封放射性物质工作场所均采取有效的实体屏蔽措施，更具辐射环境影响分析能够达到《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)控制剂量率要求； ③建设单位将制定监测计划，并自行配备便携式γ辐射监测仪及β表面沾污仪，定期或不定期进行场所巡测，发现异常及时查明原因并进行处置。

三废的治理

一、废气处理措施

本项目拟建核医学科排风井位于核医学科西侧，采用竖向风管将核医学科废气排放至病房楼楼顶。核医学科排风管道拟分为四支：

①分装室1自动分装仪为一套独立排风系统，排风量为1500m³/h，风速不低于0.5m/s；分装室2分装柜为一套独立排风系统，排风量为1000m³/h，风速不低于0.5m/s，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求的“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”的要求；

②甲癌病房区为一套独立排风系统，风量为3500m³/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中要求的“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”的要求；

③其余房间为一套排风系统，风量为7000m³/h，排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，能有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

本项目核医学科排风管道布设见图10-7。

本项目放射性废气排放系统设计合理。

四套排风管道由核医学科西侧排风井经专用排风管道排至病房楼楼顶，并高出屋脊排放，上述①、②排风管风机端设置二级活性炭吸附装置，其余排风管风机端设置一级活性炭吸附装置。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，二级活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于99%，一级活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于90%。所使用的活性炭需定期更换，更换下来的活性炭应按放射性固体废物进行处理。

二、废水处理措施

本项目核医学科设置有一座衰变池，用于收集核医学科放射性废水。

1、放射性废水收集管线

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道排至病房楼东北侧绿化带内的衰变池进行衰变。当衰变后的废水达到衰变天数后排入医院污水处理系统。核医学废水处理流程示意图见图 10-3。



图 10-3 拟建核医学科废水处理流程示意图

核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道拟采用含铅镀锌钢管并用 6mm 铅皮包裹进行屏蔽防护。

2、衰变池选址合理性

医院核医学科衰变池拟设置在病房楼东北侧绿化带内，该位置是距离核医学科最近的位置，放射性废水管道最短。衰变池上方是绿化带，下方为土层，并设置栅栏进行隔离管控。本项目衰变池从辐射防护角度考虑，选址合理。

3、放射性废水处置措施

本项目核医学科设置有给药后患者的专用卫生间，设置有独立的下水系统，并与衰变池相连，核医学科衰变池设计为三格并联衰变池，单格有效容积为 88.8m³，总有效容积为 266.4m³，位于病房楼东北侧绿化带内，池体埋入地下，已避开人员集

中活动区域，衰变池池体采用 300mm 混凝土浇筑，顶板为 300mm 混凝土浇筑，池体内部铺设防水涂层，防渗系数 $\leq 10^{-10}\text{cm/s}$ ，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性要求。衰变池检查口采用 10mm 铅板防护，整体埋于地下，尽量减小对公众的辐射影响。

本项目核医学科放射性废水核素组成仅为碘-131、锝-99m、氟-18，其中碘-131半衰期最长，为8.04d，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），对于所含碘-131核素的放射性废液暂存时间需超过180天，根据源项分析，本项目核医学科放射性废水单日排放量为 $0.79\text{m}^3/\text{d}$ ，180天（实际排水天数为130个工作日，周末不接诊病人）内总排放的放射性废水产生量为 102.7m^3 。

根据设计，核医学科衰变池总的有效容积为 266.4m^3 ，该衰变池为三格并联衰变池，单个池体有效容积为 88.8m^3 ，运行时当1#池体内废水装满时（单日排放量为 $0.79\text{m}^3/\text{d}$ ，废水装满需要112天，周末不接诊病人，因此实际时间为156天），关闭出水阀门和进水阀门进行封闭衰变，然后将废水接着排入2#池体内，当2#池废水装满时关闭出水阀门和进水阀门进行封闭衰变，然后将废水接着排入3#池体内，此时1#池体内废水已衰变312天。在180天时，对1#池体通过预留取样口进行取样监测，监测达标后通过抽水泵将废水排入医院污水管网，最后通过医院污水处理站处理后达标排放市政污水管网。本项目核医学科衰变池设计为三格，其中两格衰变池有效容积为 177.6m^3 ，大于核医学科180天总的放射性废水产生量 102.7m^3 ，该衰变池设计合理。

本项目核医学科衰变池设计图见附图10。

4、放射性废水收集排放管控措施

为保障该衰变池的长效可靠运行，建设单位还需采取如下管理措施：

①放射性废水通过核医学科衰变池暂存衰变 180 天后排入医院污水处理站；②医院需建立放射性废水暂存和处理台账，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、排放时间等信息，并由专人负责管理记录；③衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，同时衰变池四周应设立拦挡，并作为控制区管理；④为防止衰变池过满溢出，要求在每个衰变池设置液位计，随时监控衰变池内水位，到达预定位置时即可报警并提示手动关闭进水阀门或自动关闭进水阀门，

使用废水进入另外的池体。⑤在诊疗过程中若出现少量剩余放射性药物，优先考虑是否可以再利用，如不能再利用则应先采用单独的收集容器收集后转入放射性废物间暂存容器内进行暂存 10 个半衰期后，再通过放射性废水下水口排入衰变池。⑥衰变池设置防雨水顶棚，四周设置排水沟防止雨水灌入池体，同时衰变池应作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需 $\leq 10^{-10}$ cm/s。

三、固体废物处理措施

本项目产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶、一次性口杯、擦拭纸巾、甲癌病人住院期间生活垃圾等以及使用过的钼铈发生器和退役放射源等，涉及的放射性核素包括：碘-131、钼-99m、氟-18、锶-89。本项目分装室 1、分装室 2、注射间、服药间以及甲癌病房等设置有放射性固废收集桶，桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转运至放射性废物间进行衰变处置；钼铈发生器直接交由生产厂家回收处理；定期更换的除碘活性炭过滤器作为放射性固废进行收集处理。更换的放射源交由生产厂家进行回收，建设单位在购置放射源之前与放射源生产厂家签订回收协议。

表 10-20 放射性固废处理措施一览表

场所	种类	核素种类	收集措施	暂存措施	处置措施
核医学科	一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶等	氟-18、钼-99m、锶-89	设置放射性固废收集桶	转入污物间 2 暂存衰变	经监测达标，并经审管部门批准后作为医疗废物交由资质单位处理
	过滤器	氟-18、钼-99m、锶-89	/	转入污物间 2 暂存衰变	由生产厂家回收处理
	钼铈发生器	钼-99、钼-99m	/	转入污物间 2 暂存衰变	由放射源生产厂家回收
	退役锶-90 放射源	锶-90	/	/	经监测达标，并经审管部门批准后作为医疗废物交由资质单位处理
	一次性口杯、擦拭纸巾、甲癌病人住院期间生活垃圾等	碘-131	分装室 1、服药间、甲癌病房设置放射性固废收集桶	转入污物间 1 暂存衰变	经监测达标，并经审管部门批准后作为医疗废物交由资质单位处理
	过滤器	碘-131	/	转入污物间 1 暂存衰变	

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

1、放射性固体废物收集

①放射性废物应按核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等进行分类收集；②放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转运至放射性废物间进行衰变处置；③对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内；④每袋废物的表面剂量不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

2、放射性固废临时贮存和最终处理

①建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，主要记录信息内容包括：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信息等，并安排专人负责管理，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；②不同核素种类放射性固废进行分类收集，其中含氟-18、锝-99m、锶-89 的放射性固废暂存衰变 30 天，含碘-131 放射性固体废物暂存衰变 180 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面沾污小于 0.08Bq/cm²， β 表面沾污小于 0.8Bq/cm²，经审管部门认可后，可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理。③放射性固废暂存间应进行防渗处理，墙角边缘应进行圆角处理，并在门口同时张贴电离辐射警告标识和医疗废物警示标识。

四、环保措施及其投资估算

项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-18。本项目总投资 1200 万元，环保投资 57.5 万元，占总投资的 1.86%。

表 10-18 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目	主要辐射安全与防护设施	数量	金额（万元）	备注
辐射屏蔽措施	房间辐射屏蔽（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	/	/	纳入主体工程范围
	手套箱（正面 55mm 铅当量，操作窗为 45mm 铅当量铅玻璃，其他面为 45mm 铅当量）、自动核素分装仪	1 套	15.0	/
	注射器防护套（3ml，1 个，10mmPb；5ml，1 个，10mmPb）	2 个	0.5	/
个人防	个人剂量报警仪	4 台	2.0	/

护用品	个人剂量计	10 个	1.0	/
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	5 套	2.0	/
	放射性活度计	2 台	2.0	/
	表面污染监测仪	2 套	4.0	/
	X、 γ 辐射检测仪	1 台	2.0	/
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	/	纳入主体工程范围
	3 格并联池衰变池（每格有效容积为 88.8m ³ ）	1 座	/	
放射性固废	放射性固废收集桶（10mm 铅当量）	6 个	2.0	/
安全装置	储源室红外监控系统	1 套	3.0	/
	储源室防盗入侵报警装置	1 套	3.0	/
	控制区入口、出口单向门禁系统	1 套	2.0	/
	机房紧急止动开关	2 套，每个机房 1 套	2.0	/
	机房工作状态指示灯（门-灯联锁）	2 套，每个机房 1 套	1.0	/
	机房语音对讲装置	2 套，每个机房 1 套	1.0	/
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套	0.5	/
通风系统	放射性废气独立通排风系统	4 套	/	纳入主体工程范围
	过滤系统	4 套	4.0	/
其他	控制区地面防渗	/	/	纳入主体工程范围
辐射工作人员上岗考核		/	5.0	/
规章制度上墙		/	0.5	/
应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练等）		/	5.0	/
合计			57.5	/



表 11 环境影响分析

施工期环境影响

本项目依托海东市第二人民医院二期即青海省省级区域医疗中心（海东市）建设项目建成，土建工程环境影响评价已包含在《青海省省级区域医疗中心（海东市）建设项目环境影响报告表》中，2022 年 4 月 18 日海东市生态环境局以“东生 [2022]98 号”文对该项目进行批复，本次评价不涉及项目所在大楼的土建工程。本次施工期主要评价内容为：防护装修施工及设备安装调试的环境影响。

一、装修施工的环境影响

本项目施工期间可能产生的污染物主要为扬尘、废水、噪声、废渣和废气等。

1、大气环境影响分析

本项目施工期产生废气的主要为装修时产生的扬尘及废气等。本项目施工期间产生的扬尘量较小，通过建设施工中采取湿法作业，尽量降低粉尘对周围环境的影响，施工期产生的少量扬尘对项目周围大气环境影响较小。装修过程中产生的废气污染物相对较少，加强通风或室内空气净化措施，严格按《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）控制室内环境，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、声环境影响分析

本项目施工方式主要为人工施工，切割机等设备的使用较少，同时项目施工噪声影响是暂时的，将随着施工期的结束而消失。因此，本项目施工对周围声环境影响时间和强度均较小，但必须重视对施工期噪声的控制，特别是应减小对其他工作单元的不利影响。

针对本项目而言，施工期噪声污染防治措施具体有：

（1）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，22:00~6:00 禁止施工作业。

（2）优先选用低噪声设备，日常应注意对施工机械、设备的维修、保养，使其保持良好的运行状态。

经采取上述有效措施后，可有效降低本项目施工过程中噪声对周围的影响。

3、水环境影响分析

本项目施工期间，施工人员日常生活会排放一定量的生活污水，可依托医院主体工程的污水处理系统收集处理，经处理后污水进入城市污水管网，处置措施可行。

4、固体废物

固体废弃物主要是生活垃圾、设备包装废弃物及少量建筑垃圾。

施工期生活垃圾及包装废物产生量较小，但应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持施工区域环境的洁净卫生。生活垃圾及包装废物由医院设置的垃圾箱集中收集后由环卫部门定期清运。项目产生建筑垃圾主要是建筑废渣和一些包装袋、包装箱、碎木块、废水泥等。首先对其中可回收利用部分进行回收，其次对建筑垃圾要定点堆放，依托主体工程外运至海东市指定的建筑垃圾堆放场。

二、安装调试阶段环境影响分析

本项目设备的安装调试由厂家专业人员完成，医院不得自行拆卸、安装设备。本项目 SPECT/CT、PET/CT 的安装和调试均在机房内完成。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中医院应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。由于设备的安装和调试均在机房内进行，调试期间产生的 X 射线、 γ 射线经过机房墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

本项目核医学科涉及使用 2 台Ⅲ类射线装置、4 种非密封放射性物质和 1 枚 V 类放射源，产生的电离辐射包括：X 射线、 β 射线、 γ 射线。

1、 β 射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的碘-131、钨-99m、氟-18、锶-89 核素在衰变过程中会有 β 粒子。根据《放射卫生学》（章仲侯主编，P171）， β 粒子在不同介质中的射程按式 11-1 计算：

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

式中： d_{max} —射程（cm）；

E_{max} — β 粒子最大能量（MeV）；

ρ —屏蔽材料密度(g/cm^3)，空气密度取 $1.29 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^3$ ，砖的密度取 $1.65 \text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度取 $2.35 \text{g}/\text{cm}^3$ ，铅玻璃密度取 $4.2 \text{g}/\text{cm}^3$ ，铅密度取 $11.3 \text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡防护涂料密度取值 $3.2 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

表 11-1 各核素 β 射线在空气中理论最大射程

核素	Tc-99m	I-131	F-18	Sr-89	Sr-90	最小屏蔽层厚度 (cm)
β 射线能量(MeV)	0.002	0.606	0.64	1.495	0.546	/
空气中的射程 (cm)	7.75×10^{-1}	235	248.1	579	211.6	/
砖墙中的射程 (cm)	6.06×10^{-4}	1.84×10^{-1}	0.19	4.53×10^{-1}	0.17	24
混凝土中射程 (cm)	4.26×10^{-4}	1.29×10^{-1}	0.14	3.18×10^{-1}	0.12	25
铅玻璃中射程 (cm)	2.38×10^{-4}	7.21×10^{-2}	7.62×10^{-2}	1.78×10^{-1}	6.5×10^{-2}	2.5
铅中射程 (cm)	8.85×10^{-5}	2.68×10^{-2}	2.83×10^{-2}	6.62×10^{-2}	2.42×10^{-2}	0.3
硫酸钡防护涂料中射程 (cm)	3.13×10^{-4}	9.47×10^{-2}	0.10	2.34×10^{-2}	8.53×10^{-2}	2.5

根据表11-1， β 射线在各屏蔽体中的射程均远小于屏蔽体的厚度，因此 β 射线对周围辐射环境影响很小，本次评价不考虑。

2、轫致辐射（X 射线）影响分析

由于 β 粒子在遇到重质材料（如：铅、铁等原子序数大于 56 的材质）屏蔽时，才会产生轫致辐射，因此本次评价主要考虑分装/操作过程中有铅屏蔽时的轫致辐射影响，根据《辐射防护导论》（P133），轫致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下：

$$D=4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z \cdot (\mu_{en}/\rho) \cdot (E_b/r)^2 \dots\dots\dots \text{（式 11-2）}$$

式中： D —屏蔽层中 β 粒子产生的轫致辐射在 $r(0.5\text{m})$ 处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

μ_{en}/ρ —是平均能量为 E_b ($E_b=0.33E_{max}$) 的轫致辐射在屏蔽材料中质量能量吸收系数， $\text{m}^2.\text{kg}^{-1}$ ，由《辐射防护导论》附表 1 查得；

A —放射源活度，Bq；

Z —电子屏蔽材料的有效原子序数，根据《辐射防护导论》表 4.4 查得铅有效原子序数为 82。

根据《辐射防护导论》（P134）经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由下式计算：

$$E=D*0.1^{(d/TVL)} \dots\dots\dots \text{(式 11-3)}$$

式中： D —屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在 $r(0.5m)$ 处空气中的吸收剂量率，Gy/h；
 d —屏蔽层厚度；

TVL —屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度，cm，由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

根据以上计算参数，本次选取操作活度较大、 β 粒子能量粒子较高的 I-131 和 Sr-89 进行计算，所致韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外辐射剂量当量率计算结果见表 11-2。

表 11-2 韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外剂量率计算表

核素	I-131	Sr-89
β 粒子能量 (MeV)	0.606	1.495
韧致辐射能量 (MeV)	0.18	0.18
操作活度 (Bq)	1.48×10^{10}	1.48×10^8
空气质量能量吸收系数 ($m^2 \cdot kg^{-1}$)	1.23×10^{-2}	1.23×10^{-2}
屏蔽前空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.09×10^{-4}	6.66×10^{-6}
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	2	0.2
铅什值层厚度* (cm)	0.14	0.14
屏蔽体外剂量当量率 ($\mu Sv/h$)	4.04×10^{-20}	2.48×10^{-7}

*注：对照《辐射防护导论》表 3.5，保守按较高能量查得什值层厚度；对于 I-131，取自动分装仪屏蔽厚度和操作活度；对于 Sr-89，取注射过程中的屏蔽厚度和操作活度。

经计算，在操作位距离辐射源 0.5m 处韧致辐射剂量当量率最大为 $2.48 \times 10^{-7} \mu Sv/h$ ，因此韧致辐射为周围辐射剂量率贡献值很小，本次评价可以忽略。

3、 γ 射线辐射剂量率预测

①预测模式

因预测点位与放射性核素操作位置间的距离比容器的几何尺寸大 5 倍以上，故可视为点源。应用 γ 射线点源剂量率计算公式进行预测，根据《核医学科放射防护要求》(GBZ120-2020)， γ 点源剂量计算公式如下：

$$H=A*\Gamma*\eta/R^2 \dots\dots\dots \text{(式 11-4)}$$

$$\eta = 0.1^{\frac{d}{TVL}} \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

式中： A —操作活度 (MBq)；

Γ —距离操作核素 1m 处的周围剂量当量率常数 ($\mu Sv \cdot m^2/MBq \cdot h$)；

R —参考点与放射源间的距离 (m)；

η —衰减系数；

d —屏蔽层厚度（mm）；

TVL — γ 射线半值层厚度（mm），见表 11-3；

H —关注点剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

②预测计算所依据参数

本次评价针对放射性核素选择的主要预测参数见表 11-3。

表 11-3 计算参数表

操作核素	周围剂量当量率常数（裸源） ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	患者或受检者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	铅半值层厚度（mm）	混凝土半值层厚度（mm）	实心砖半值层厚度（mm）
F-18	0.143	0.092	16.6	176	263
Tc-99m	0.0303	0.0207	1	110	160
I-131	0.0595	0.0583	11	170	240

*注：上表数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

③预测点位选择及控制剂量率

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。针对该要求，本次评价区域内各房间各面及不同材料的屏蔽体均进行了计算，各关注点辐射剂量率计算结果见表 11-4。

表 11-4 核医学科关注点辐射剂量率核算表

序号	场所			预测活度 (MBq)	屏蔽材料及厚度	铅当量 (mm)	1m 处的周 围剂量当 量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	距离辐射源最 近距离 (m)	屏蔽体外 γ 射线辐射剂 量率预测值 ($\mu\text{Sv/h}$)	合计	控制剂量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	储源 室 2	南侧	防护门 外	3700 (F-18)	40mm 铅+6mmpb 防护门	46	0.143	1.5	9.16×10^{-1}	9.16×10^{-1}	2.5
				0.05mSv/h (Tc-99m)	6mmpb 防护门	6	0.0303	1.5	2.22×10^{-5}		
			墙外	3700 (F-18)	40mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	59.9	0.143	1.5	5.79×10^{-2}	3.38×10^{-1}	
				0.05mSv/h (Tc-99m)	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0303	1.5	2.80×10^{-1}		
2		西侧	墙外	3700 (F-18)	40mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	59.9	0.143	1.5	5.79×10^{-2}	3.38×10^{-1}	2.5
			墙外	0.05mSv/h (Tc-99m)	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0303	1.5	2.80×10^{-1}		
3		北侧	墙外	3700 (F-18)	40mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	59.9	0.143	1.5	5.79×10^{-2}	3.38×10^{-1}	2.5
				0.05mSv/h (Tc-99m)	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0303	1.5	2.80×10^{-1}		
4	东侧		墙外	3700 (F-18)	40mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	59.9	0.143	1.5	5.79×10^{-2}	3.38×10^{-1}	2.5
				0.05mSv/h (Tc-99m)	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0303	1.5	2.80×10^{-1}		
5	楼	地面	3700 (F-18)	40mm 铅+25cm 混凝土+2.5cm 硫酸	66.6	0.143	3.7	3.76×10^{-3}	1.29×10^{-2}	2.5	

		上			钡水泥							
				0.05mSv/h (Tc-99m)	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥	2.6	0.0303	3.7	9.17×10^{-3}			
6	分装室 2	东侧	墙外	3700 (F-18)	45mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	54.9	0.143	1.5	1.16×10^{-1}	1.16×10^{-1}	2.5	
7		北侧	墙外	3700 (F-18)	45mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	64.9	0.143	2.0	3.26×10^{-2}	3.26×10^{-2}	2.5	
			防护门外	3700 (F-18)	45mm 铅+6mmpb 防护门	51	0.143	2.0	1.12×10^{-1}	1.12×10^{-1}		
												1.40×10^{-49}
8		西侧	墙外	3700 (F-18)	55mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	74.9	0.143	4.5	8.04×10^{-4}	8.04×10^{-4}		2.5
9		南侧	墙外	3700 (F-18)	45mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	64.9	0.143	2.0	1.63×10^{-2}	1.63×10^{-2}	2.5	
			注射窗外	3700 (F-18)	45mm 铅+25mmpb 注射窗	70	0.143	2.0	8.03×10^{-3}	8.03×10^{-3}		
												1.40×10^{-68}
10	楼上	地面	3700 (F-18)	45mm 铅+25cm 混凝土+2.5cm 硫酸 钡水泥	70.6	0.143	3.7	2.16×10^{-3}	2.16×10^{-3}	2.5		
												1.03×10^{-46}
11	手套箱正对人员操作位表面 30cm 处			3700 (F-18)	55mm 铅	55	0.143	0.5	1.03	1.03	2.5	
				18500 (Tc-99m)	55mm 铅	55	0.0303	0.5	2.24×10^{-52}			
12	手套箱非正对人员操作位表面 30cm 处			3700 (F-18)	45mm 铅	45	0.143	0.5	4.12	4.12	25	
				18500 (Tc-99m)	45mm 铅	45	0.0303	0.5	2.24×10^{-42}			

13	SPEC T 等 候间 1	东 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	4.5	3.81×10^{-2}	3.81×10^{-2}	2.5
14		南 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	3.0	8.57×10^{-2}	8.57×10^{-2}	2.5
15		西 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	1.5	3.43×10^{-1}	3.43×10^{-1}	2.5
16		北 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	3.0	8.57×10^{-2}	8.57×10^{-2}	2.5
			防护门 外	740*4（Tc-99m）	6mmpb 防护门	6	0.0207	3.0	6.81×10^{-6}		
17		楼 上	地面	740*4（Tc-99m）	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥	2.6	0.0207	3.7	1.12×10^{-2}	1.12×10^{-2}	2.5
18	SPEC T 等 候间 2	西 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	4.5	3.81×10^{-2}	3.81×10^{-2}	2.5
19		南 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	3.0	8.57×10^{-2}	8.57×10^{-2}	2.5
20		东 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	1.5	3.43×10^{-1}	3.43×10^{-1}	2.5
21		北 侧	墙外	740*4（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水 泥	1.9	0.0207	3.0	8.57×10^{-2}	8.57×10^{-2}	2.5
			防护门 外	740*4（Tc-99m）	6mmpb 防护门	6	0.0207	3.0	6.81×10^{-6}		
22		楼	地面	740*4（Tc-99m）	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥	2.6	0.0207	3.7	1.12×10^{-2}	1.12×10^{-2}	2.5

		上									
23	PET 等候 间	南侧	墙外	370*1（F-18）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	19.9	0.092	2.0	5.38×10^{-1}	5.38×10^{-1}	2.5
24		西侧	墙外	370*1（F-18）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	19.9	0.092	2.5	3.45×10^{-1}	3.45×10^{-1}	2.5
25		北侧	墙外	370*1（F-18）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	19.9	0.092	4.0	1.35×10^{-1}	9.26×10^{-1}	2.5
			防护门外	370*1（F-18）	6mmpb 防护门	6	0.092	4.0	9.26×10^{-1}		
26		东侧	墙外	370*1（F-18）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	19.9	0.092	2.5	3.45×10^{-1}	3.45×10^{-1}	2.5
27		楼上	地面	370*1（F-18）	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥	26.6	0.092	3.7	6.21×10^{-2}	6.21×10^{-2}	2.5
28	SPEC T/CT 机房	东侧	墙外	740（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	1.9	0.0207	3.0	2.42×10^{-2}	2.42×10^{-2}	2.5
			门/窗外	740（Tc-99m）	6mmpb 防护门、6mmpb 观察窗	6	0.0207	3.0	1.70×10^{-6}		
29		南侧	墙外	740（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	1.9	0.0207	4.5	9.52×10^{-3}	9.52×10^{-3}	2.5
			门外	740（Tc-99m）	6mmpb 防护门	6	0.0207	4.5	7.56×10^{-7}		
30		西侧	墙外	740（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	1.9	0.0207	3.0	2.14×10^{-2}	2.14×10^{-2}	2.5
31		北	墙外	740（Tc-99m）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水	1.9	0.0207	4.5	9.52×10^{-3}	9.52×10^{-3}	2.5

		侧			泥						
32		楼上	地面	740（Tc-99m）	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥	2.6	0.0207	3.7	2.81×10^{-3}	2.81×10^{-3}	2.5
33	PET/ CT 机 房	西侧	墙外	370（F-18）	24cm 混凝土实心砖+6cm 硫酸钡水泥	22.3	0.092	3.0	1.72×10^{-1}	1.25	2.5
			门/窗外	370（F-18）	8mmpb 防护门、8mmpb 观察窗	8	0.092	3.0	1.25		
南侧		墙外	370（F-18）	24cm 混凝土实心砖+6cm 硫酸钡水泥	22.3	0.092	4.5	7.62×10^{-2}	5.54×10^{-1}	2.5	
		门外	370（F-18）	8mmpb 防护门	8	0.092	4.5	5.54×10^{-1}			
35		东侧	墙外	370（F-18）	24cm 混凝土实心砖+6cm 硫酸钡水泥	22.3	0.092	3.0	1.72×10^{-1}	1.72×10^{-1}	2.5
36		北侧	墙外	370（F-18）	24cm 混凝土实心砖+6cm 硫酸钡水泥	22.3	0.092	4.5	7.62×10^{-2}	7.62×10^{-2}	2.5
37		楼上	地面	370（F-18）	25cm 混凝土+4.5cm 硫酸钡水泥	29.0	0.092	3.7	4.45×10^{-2}	4.45×10^{-2}	2.5
38	储源 室 1	南侧	墙外	14800（I-131）	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	41.0	0.0595	1.0	7.33×10^{-2}	4.83×10^{-1}	2.5
			门外	14800（I-131）	20mm 铅+12mmpb 防护门	32	0.0595	1.0	4.83×10^{-1}		
39		西侧	墙外	14800（I-131）	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	41.0	0.0595	1.0	7.33×10^{-2}	7.33×10^{-2}	2.5
40		北侧	墙外	14800（I-131）	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	41.0	0.0595	1.0	7.33×10^{-2}	7.33×10^{-2}	2.5

41		东 侧	墙外	14800 (I-131)	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖 +10mm 铅板	41.0	0.0595	1.0	7.33×10^{-2}	7.33×10^{-2}	2.5
42		楼 上	地面	14800 (I-131)	20mm 铅+25cm 混凝土+7.5cm 硫酸 钡水泥	42.4	0.0595	3.7	8.99×10^{-3}	8.99×10^{-3}	2.5
43	分装 室 1	南 侧	墙外	14800 (I-131)	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖 +10mm 铅板	41.0	0.0595	1.5	7.33×10^{-2}	9.04×10^{-2}	2.5
			给药窗 外	14800 (I-131)	20mm 铅+20mmpb 铅玻璃	40	0.0595	1.5	9.04×10^{-2}		
44		西 侧	墙外	14800 (I-131)	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖 +10mm 铅板	41.0	0.0595	5.0	6.60×10^{-3}	6.60×10^{-3}	2.5
45		北 侧	墙外	14800 (I-131)	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖 +10mm 铅板	41.0	0.0595	3.0	1.83×10^{-2}	1.83×10^{-2}	2.5
46		东 侧	墙外	14800 (I-131)	20mm 铅+24cm 混凝土实心砖 +10mm 铅板	41.0	0.0595	1.5	7.33×10^{-2}	7.33×10^{-2}	2.5
47		楼 上	地面	14800 (I-131)	20mm 铅+25cm 混凝土+7.5cm 硫酸 钡水泥	42.4	0.0595	3.7	8.99×10^{-3}	8.99×10^{-3}	2.5
48		西 侧	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	2.0	1.33	1.33	2.5
49	甲癌 病房 1	北 侧	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	3.5	4.34×10^{-1}	1.52	2.5
			门外	7400 (I-131)	16mmpb 防护门	16	0.0583	3.5	1.52		
50		东 侧	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	3.0	5.91×10^{-1}	5.91×10^{-1}	2.5
51		南	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	3.5	4.34×10^{-1}	4.34×10^{-1}	2.5

		侧									
52		楼上	地面	7400 (I-131)	25cm 混凝土+7.5cm 硫酸钡水泥	22.4	0.0583	3.7	2.90×10^{-1}	2.90×10^{-1}	2.5
53		东侧	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	2.0	1.33	1.33	2.5
54	甲癌 病房 2	北侧	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	3.5	4.34×10^{-1}	1.52	2.5
			门外	7400 (I-131)	16mmpb 防护门	16	0.0583	3.5	1.52		
55		西侧	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	3.0	5.91×10^{-1}	5.91×10^{-1}	2.5
56		南侧	墙外	7400 (I-131)	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板	21.0	0.0583	3.5	4.34×10^{-1}	4.34×10^{-1}	2.5
57		楼上	地面	7400 (I-131)	25cm 混凝土+7.5cm 硫酸钡水泥	22.4	0.0583	3.7	2.90×10^{-1}	2.90×10^{-1}	2.5

*注：①混凝土铅当量计算采用什值层比 ($d_{\text{铅}} = d_{\text{混凝土}} * (TVL_{\text{铅}} / TVL_{\text{混凝土}})$) 计算；②根据《放射卫生学》P141，硫酸钡涂料和、硫酸钡防护板均属于低原子序数 (<56) 物质组成材料，可以采用密度比 ($d_{\text{混凝土}} = d_{\text{材料}} * (\rho_{\text{材料}} / \rho_{\text{混凝土}})$) 换算成混凝土的厚度；③混凝土密度为 2.35g/cm³；混凝土实心砖密度为 2.0g/cm³；硫酸钡水泥密度为 3.0g/cm³；④经计算，对于 F-18：25cm 混凝土铅当量厚度为 23.6mm，24cm 混凝土实心砖铅当量厚度为 15.1mm，2.5cm 硫酸钡水泥铅当量厚度为 3.0mm，4cm 硫酸钡水泥铅当量厚度为 4.8mm，4cm 硫酸钡水泥铅当量厚度为 5.4mm，6cm 硫酸钡水泥铅当量厚度为 7.2mm；对于 Tc-99m：25cm 混凝土铅当量厚度为 2.3mm，24cm 混凝土实心砖铅当量厚度为 1.5mm，2.5cm 硫酸钡水泥铅当量厚度为 0.3mm；4cm 硫酸钡水泥铅当量厚度为 0.5mm；对于 I-131：25cm 混凝土铅当量厚度为 16.2mm，24cm 混凝土实心砖铅当量厚度为 11.0mm，7.5cm 硫酸钡水泥铅当量厚度为 6.2mm。

根据表 11-4，核医学科控制区外人员可达处及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

量当量率最大值 1.52 μ Sv/h（甲癌病房 1、甲癌病房 2 防护门外 30cm 处），满足 2.5 μ Sv/h 控制剂量率要求；手套箱正对人员操作位外表面 0.3m 处的周围剂量当量率为 1.03 μ Sv/h，满足 2.5 μ Sv/h 控制剂量率要求，手套箱非正对人员操作位外表面 0.3m 处的周围剂量当量率为 4.12 μ Sv/h，满足 25 μ Sv/h 控制剂量率要求，因此本项目核医学科辐射防护屏蔽设计是合理的。

5、核医学科所致职业及公众受照剂量预测

（1）核素诊断治疗区

根据前述工程分析，各操作流程受照时间核算情况见表 11-5。

表 11-5 预测参数表

核素	人员	操作方式	受照射时间（min）	年接诊人次（人）	年操作时间（h）
^{18}F	职业	分装	1	500	8.3
		注射	1		8.3
		摆位	1		8.3
		显像	20		166.7
		校准	30（每月校准一次）		6
	公众	分装	1		8.3
		注射	1		8.3
		候检	30		250
		显像	20		166.7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	职业	制药、分装	1	2000	33.3
		注射	1		33.3
		摆位	1		33.3
		显像	20		666.7
		校准	30（每周校准一次）		25
	公众	制药、分装	1		33.3

¹³¹ I（甲吸）		注射	1		33.3
		候检	30		1000
		显像	20		666.7
	职业	服药	0.5	2000	16.7
		测定	1		33.3
	公众	服药	0.5		16.7
		测定	1		33.3

注：在病人注射后候检和显像结束留观期间，医生一般不直接接触病人，因此不考虑此间用药病人对职业人员的影响。

③预测结果

根据建设单位提供资料，氟-18、锝-99m 分装、注射由 2 人平均操作；¹³¹I（甲吸）的服药和测定由 1 人操作，且辐射工作人员互不交叉。甲癌病房区设辐射工作人员 2 人，分装仪自动分装后，由工作人员发药。此外，设置 2 名 PET/CT 操作人员，2 名 SPECT/CT 操作人员，负责设备的出束、校准以及患者的摆位。

评价综合考虑最不利情况下（关注点距离源项最近距离、最大操作时间、最保守居留因子取值），各关注点的 γ 辐射剂量率及年有效剂量预测结果见表 11-6~11-10。

表 11-6 氟-18 操作过程 γ 射线的影响计算

人员	操作方式	距 γ 源距离	屏蔽材料及厚度	年操作时间(h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	年有效剂量 (mSv/a)(合计)
职业	分装	0.5m	55mmpb 手套箱+0.5mmpb 防护用品，具有 55.5mmpb	8.3	1	9.79×10^{-4}	4.10×10^{-1}
	注射	0.5m	10mmpb 铅套+0.5mmpb 防护用品，具有 10.5mmpb	8.3	1	4.09×10^{-1}	
	摆位	1.0m	0.5mm 防护用品	8.3	1	2.64×10^{-1}	4.71×10^{-1}
	显像	3.0m	8mmpb 铅窗	166.7	1	2.08×10^{-1}	

公众（四周）	分装	9.5m（分装室北侧主任室）	45mmpb 手套箱+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 64.9mmpb	8.3	1	5.99×10^{-7}	5.99×10^{-7}
	注射	8.5m（分装室西侧诊室）	10mmpb 铅套+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 29.9mmpb	8.3	1	9.61×10^{-5}	9.61×10^{-5}
	候检	12.0m（等候间南侧热水机房）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 19.9mmpb	250	1/4	9.35×10^{-4}	9.35×10^{-4}
	显像	8.0m（PET 机房北侧示教室）	24cm 混凝土实心砖+6cm 硫酸钡水泥，具有 22.3mmpb	166.7	1/4	1.01×10^{-3}	1.01×10^{-3}
公众（楼上）	分装	3.7m（负 1 楼停车场）	45mm 铅+25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥，具有 70.6mmpb	8.3	1/16	1.12×10^{-7}	1.12×10^{-7}
	注射	3.7m（负 1 楼停车场）	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥，具有 25.6mmpb	8.3	1/16	5.75×10^{-5}	5.75×10^{-5}
	候检	3.7m（负 1 楼停车场）		250	1/16	1.11×10^{-3}	1.11×10^{-3}
	显像	3.7m（负 1 楼停车场）		166.7	1/16	7.43×10^{-4}	7.43×10^{-4}

*注：①公众预测选择距离最近的代表性敏感目标进行预测评价。

表 11-7 钨-99m 操作过程 γ 射线的影响计算

人员	操作方式	距 γ 源距离	屏蔽材料及厚度	年操作时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	年有效剂量 (mSv/a) (合计)
职业	制药、分装	0.5m	55mmpb 手套箱+0.5mmpb 防护用品，具有 55.5mmpb	33.3	1	9.44×10^{-56}	9.44×10^{-11}
	注射	0.5m	10mmpb 铅套+0.5mmpb 防护用品，具有 10.5mmpb	33.3	1	9.44×10^{-11}	
	摆位	1.0m	0.5mm 防护用品	33.3	1	1.61×10^{-1}	1.61×10^{-1}
	显像	3.0m	6mmpb 铅窗	666.7	1	1.13×10^{-6}	
	校准	0.5m	2mmpb 铅罐	25	1	3.36×10^{-5}	

公众（四周）	制药、分装	9.5m（分装室北侧主任室）	45mm 铅+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 46.9mmpb	33.3	1	1.04×10^{-49}	1.04×10^{-49}
	注射	8.5m（分装室西侧诊室）	10mmpb 铅套+24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 11.9mmpb	33.3	1	1.30×10^{-14}	1.30×10^{-14}
	候检	12.0m（等候间南侧热水机房）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 1.9mmpb	1000	1/4	3.35×10^{-4}	3.35×10^{-4}
	显像	6.0m（PET 机房北侧示教室）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 1.9mmpb	666.7	1/4	8.93×10^{-4}	8.93×10^{-4}
公众（楼上）	制药、分装	3.7m（负 1 楼停车场）	45mmpb 手套箱+25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥，具有 47.6mmpb	66.7	1/16	1.72×10^{-50}	1.72×10^{-50}
	注射	3.7m（负 1 楼停车场）	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥，具有 2.6mmpb	66.7	1/16	1.72×10^{-5}	1.72×10^{-5}
	候检	3.7m（负 1 楼停车场）		2000	1/16	3.51×10^{-4}	3.51×10^{-4}
	显像	3.7m（负 1 楼停车场）		1333.3	1/16	2.34×10^{-4}	2.34×10^{-4}

*注：①公众预测选择距离最近的代表性敏感目标进行预测评价。

氟-18、锝-99m 的分装、注射由同一组人员负责完成，根据表 11-6 和表 11-7，操作人员操作氟-18、锝-99m 受照射剂量合计为 $4.10 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ （氟-18 为 $4.10 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ + 锝-99m 为 $9.44 \times 10^{-11} \text{mSv/a}$ ），由 2 名辐射工作人员均摊完成，则每名操作人员受照射剂量为 $2.05 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的职业照射剂量约束限值 5mSv/a 要求。

表 11-8 I-131（甲吸）操作过程 γ 射线的影响计算

人员	操作方式	距 γ 源距离	屏蔽材料及厚度	年操作时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	年有效剂量 (mSv/a) (合计)
职业	服药	0.5m	0.5mmpb 防护用品	16.7	1	1.32×10^{-3}	1.97×10^{-3}
	测定	1.0m	0.5mmpb 防护用品	33.3	1	6.47×10^{-4}	

公众（四周）	服药	1.5m（吸碘间西侧墙外30cm处）	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥，具有 14.3mmpb	16.7	1	8.19×10^{-6}	2.42×10^{-4}
	测定	1.5m（甲吸室西侧墙外30cm处）		33.3	1	1.60×10^{-5}	
公众（楼上）	服药	3.7m（负1楼停车场）	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥，具有 18.3mmpb	16.7	1/16	3.64×10^{-8}	1.08×10^{-7}
	测定	3.7m（负1楼停车场）		33.3	1/16	7.11×10^{-8}	

（2）甲癌病房区

①碘-131（甲癌）给药、服药

医院甲癌病房区使用核素为碘-131，用于治疗甲癌病人。碘-131 药物购买后由厂家送至核医学科储源室 1，医护人员将装有碘-131 的铅罐放置于服碘间的自动分装仪后，远程操作自动分装仪进行分装，然后患者到达给药窗口，指导病人服用药物。

甲癌病人服用碘-131 的剂量为 200mCi/人，碘-131 铅罐放置于自动分装仪时间约 1min，医护人员操作自动分装仪进行分装，病人服药需 0.5min，碘-131 年治疗甲癌最大病人量为 100 人。碘-131（甲癌）的分装/服药由 2 名工作人员负责。

甲癌患者为住院病人，观察时间与周围公众停留时间有关，针对不同公众，观察时间不同，具体观察时间见碘-131（甲癌）操作过程γ射线的影响计算。

表 11-9 碘-131（甲癌）预测参数表

核素	人员	操作方式	受照射时间（min）	年接诊人次（人）	年操作时间（h）
碘-131 （甲癌）	职业	放置铅罐	1	每周 1 次，一年 50 周	0.8
	公众	分装	0.5	100	0.8
		服药	0.5		0.8
		观察	/		/

表 11-10 I-131（甲癌）操作过程 γ 射线的影响计算

人员	操作方式	距 γ 源距离	屏蔽材料及厚度	年操作时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	年有效剂量 (mSv/a) (合计)
职业	放置铅罐	1m	20mmpb 铅罐+0.5mmpb 防护用品, 具有 20.5mmpb	0.8	1	5.12×10^{-3}	5.12×10^{-3}
公众（四周）	分装	11.5m（分装室 1 西 侧电信间）	20mmpb +24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板, 具有 41.0mmpb	0.8	1	5.30×10^{-7}	3.54×10^{-5}
	服药	11.5m（分装室 1 西 侧电信间）	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板, 具有 21.0mmpb	0.8	1	3.49×10^{-5}	
公众（楼上）	分装	3.7m（负 1 楼停车 场）	20mmpb +25cm 混凝土+7.5cm 硫酸钡水泥, 具 有 42.4mmpb	0.8	1/16	2.39×10^{-7}	1.59×10^{-5}
	服药	3.7m（负 1 楼停车 场）	25cm 混凝土+7.5cm 硫酸钡水泥, 具有 22.4mmpb	0.8	1/16	1.57×10^{-5}	

根据表 11-10，操作人员操作碘-131 用于甲癌治疗受照射剂量为 5.12×10^{-3} mSv/a，碘-131（甲癌）的分装/服药由 2 名人员负责，则每名操作人员受照射剂量为 2.56×10^{-3} mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的职业照射剂量约束限值 5mSv/a 要求。

②碘-131（甲癌）观察

碘-131（甲癌）病人住院观察期间，医生一般通过监控摄像头和电话对讲装置远程观察，不近距离直接接触病人，因此不考虑住院病人期间对职业人员的影响，主要考虑病人住院期间对周围公众的辐射影响。

根据《分化型甲状腺癌患者的¹³¹I有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44,suppl.10,9），甲癌患者的¹³¹I平均有效半衰期为（14.6±6.5）h，本评价取最大值21.1h，表11-11列出了服用碘-131的甲癌病人住院5天期间周围辐射剂量率变化情况。

表 11-11 单个甲癌病人服用碘-131 后周围 γ 射线剂量率变化分析表

服药后时间	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄
病人体内剩余活度（MBq）	7400	3364	1529	695	316
病人 1m 处剂量率（ μ Sv/h）	431.4	196.1	89.1	40.5	18.4

*注：碘-131 患者或受检者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数取 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ 。

由上表预测值中可以看出，服药后病人对周围辐射环境影响随时间的增加而逐渐减小。甲癌病人服药后初期体外 1m 处 γ 辐射剂量率为 $431.4\mu\text{Sv/h}$ ，随着时间衰变，服药 4 天后，病人体内核素活度为 316 MBq，体外 1m 处 γ 辐射剂量率为 $18.4\mu\text{Sv/h}$ 。病人体内携带一定量活度的放射性核素离开医院是允许的，对于核素 ¹³¹I，允许离开医院的核素活度上限为 400MBq（10.8mCi）。根据国内医院实践运行经验，甲癌病人住院 5 天后均可达到出院标准。甲癌病人出院前需在住院区内使用专用的体表 γ 辐射剂量率仪在距离患者体表 1m 处测量周围剂量当量率水平，当低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 方可出院。

从某种程度上讲，服药病人相当于一个流动的放射源，在一段时间内，对近距离接触的公众可能产生 γ 外照射，并且病人排泄物也会对环境可能产生一定的影响。但是这种影响是暂时的，其影响将随着时间的推移越来越小，因此医院应加强对服药病人管理，向病人及其家属作出口头及书面的住院期间及出院后的防护措施指导，给出辐射防护建议，要求病人在一定时间内避免外出。

根据表 11-11 及（式 11-4～11-5），预测经过屏蔽后 γ 射线辐射剂量率，见下表。

表 11-12 碘-131（甲癌）病房外周边公众辐射剂量率估算表

人员	操作方式	距 γ 源距离（m）	屏蔽材料及厚度	观察日	经过屏蔽后 γ 射线辐射剂量率预测值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
楼上停车场公众	观察	3.7	25cm 混凝土+7.5cm 硫酸钡水泥，具有 22.4mmPb	第 1 天	2.90×10^{-1}
				第 2 天	1.32×10^{-1}
				第 3 天	5.99×10^{-2}
				第 4 天	2.72×10^{-2}
				第 5 天	1.24×10^{-2}
南侧热水机房公众	观察	2.5	24cm 混凝土实心砖+10mm 铅板，具有 21.0mmPb	第 1 天	8.51×10^{-1}
				第 2 天	3.87×10^{-1}
				第 3 天	1.76×10^{-1}
				第 4 天	7.99×10^{-2}
				第 5 天	3.63×10^{-2}

公众人员所受剂量计算如下，详见表 11-13。

表 11-13 碘-131（甲癌）病房外周边公众辐射剂量估算表

关注点位置	观察日	经过屏蔽后 γ 射线辐射剂量率预测值（ mSv/h ）	年受照时间（h）	居留因子	年有效剂量（ mSv/a ）	
楼上停车场公众	第 1 天	2.90×10^{-1}	25	1/16	7.25×10^{-3}	1.30×10^{-2}
	第 2 天	1.32×10^{-1}	25		3.29×10^{-3}	
	第 3 天	5.99×10^{-2}	25		1.50×10^{-3}	
	第 4 天	2.72×10^{-2}	25		6.80×10^{-4}	
	第 5 天	1.24×10^{-2}	25		3.09×10^{-4}	
南侧热水机房公众	第 1 天	8.51×10^{-1}	25	1/16	2.13×10^{-2}	3.82×10^{-2}
	第 2 天	3.87×10^{-1}	25		9.67×10^{-3}	
	第 3 天	1.76×10^{-1}	25		4.40×10^{-3}	
	第 4 天	7.99×10^{-2}	25		2.00×10^{-3}	
	第 5 天	3.63×10^{-2}	25		9.08×10^{-4}	

注：甲癌患者为住院病人，楼上停车场公众和南侧热水机房公众均为流动人群，偶然在该区域停留，保守按每天停留 0.1h，则一年停留 25h。

核医学科甲癌病房区周围公众最大受照射年剂量为 $3.82 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于公众照射年有效剂量约束值 0.1mSv/a 。因此，在实际运营过程中，在甲癌病房区内操作 ^{131}I 对外面公众影响甚小。

6、PET/CT 和 SPECT/CT 辐射环境影响分析

本项目所使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 额定管电压均为 140kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，参考《医用 X 射线治疗放射防护要求》（GBZ131-2017），当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h ，根据《辐射防护导论》表 3.5，保守考虑取 150kV 宽束 X 射线铅当量层 0.96mm 。各侧屏蔽墙体的辐射剂量率计算结果见表 11-14。

表 11-14 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽体外辐射剂量率计算表

机房	屏蔽体	屏蔽材料	铅当量厚度 (mm)	辐射源点至屏蔽体外 30cm 处最近距离 (m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET/CT 机房	墙体	24cm 混凝土实心砖+6cm 硫酸钡水泥	4.57	3.0	1.93×10^{-3}
	观察窗	8mmpb 铅玻璃	8	3.0	5.16×10^{-7}
	防护门	8mmpb 防护门	8	3.0	5.16×10^{-7}
	楼上	25cm 混凝土+4.5cm 硫酸钡水泥	5.01	3.7	4.41×10^{-4}
SPECT/CT 机房	墙体	24cm 混凝土实心砖+4cm 硫酸钡水泥	4.14	3.0	5.41×10^{-3}
	观察窗	6mmpb 铅玻璃	6	3.0	6.25×10^{-5}
	防护门	6mmpb 防护门	6	3.0	6.25×10^{-5}
	楼上	25cm 混凝土+2.5cm 硫酸钡水泥	4.59	3.7	1.21×10^{-3}

根据表 11-14，PET/CT 和 SPECT/CT 机房周围辐射剂量为 $5.16 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h} \sim 5.41 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，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，对周围的辐射环境影响较小。

综上，本项目核医学科职业人员受照年有效剂量最大为 $2.05 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，满足职业 5mSv/a 的剂量约束限值要求；周围公众受照年有效剂量最大为 $3.82 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足 0.1mSv/a 剂量约束限值要求。

二、大气环境影响分析

本项目主要放射性气溶胶主要考虑核素包括：核医学科产生的碘-131 气载性流出物。

(1) 源强计算

本项目碘-131 日最大用量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$, 碘-131 挥发量按 0.2% 保守取值(数据引自《Release of patients after therapy with unsealed radionuclides》ICRP Publication 94) 进行核算, 每天挥发量为 $2.96 \times 10^7 \text{Bq}$ 。本项目把核医学科分装室 1 放射性药物气体引入含过滤装置的独立的放射性排风管道, 最终通过病房楼屋顶设置的排风筒, 排入大气环境, 排气筒高出屋面, 通排风管道不对非核医学科开放接口。

根据设计核医学科分装室 1 为独立排风, 排风量为 $1500 \text{m}^3/\text{h}$, 两级过滤器过滤效率为 99%, 经计算核医学科碘-131 排放速率 $= 1.48 \times 10^{10} \text{Bq} \times 0.2\% \times (1 - 99\%) / (8 \text{ 小时}) = 3.7 \times 10^4 \text{Bq/h}$, 排口平均排放浓度 $= 3.7 \times 10^4 \text{Bq/h} / 1500 \text{m}^3/\text{h} = 24.7 \text{Bq/m}^3$ 。

(2) 公众受照射剂量估算

碘-131 放射气溶胶关键照射照射途径为吸入内照射和浸没外照射。

其中吸入内照射待积有效剂量计算公式如下:

$$H_{hi} = T \cdot C_{ai} \cdot u \cdot f \cdot g_{hi} \dots \dots \dots \text{(式 11-6)}$$

式中: H_{hi} —吸入内照射待积有效剂量, Sv;

T —受照时间, h;

u —为个人轻体力劳动下的呼吸率, 参照《γ辐射防护规定》(GB8703-88) 取 $1.2 \text{m}^3/\text{h}$;

C_{ai} —预测点碘-131 活度浓度, Bq/m^3 ;

g_{hi} —为吸入放射性核素 i 产生的待积有效剂量转换因子, 碘-131 取 $7.4 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ 。(根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附表查得);

f —转换因子, 取 1。

浸没外照射所致全身剂量当量计算公式如下:

$$H_A = t \cdot C_i \cdot G_A \dots \dots \dots \text{(式 11-7)}$$

式中: H_A —年空气浸没全身剂量当量, Sv/a;

t —年受照时间, s;

C_i —预测点碘-131 活度浓度, Bq/m^3 ;

G_A —烟云浸没照射剂量当量转换因子，根据 EPA-402-R-93-081 表Ⅲ.1 查得，碘-131 为 $1.82 \times 10^{-14} \text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3)$ 。

排放至环境放射性气溶胶对公众的影响采用《环境影响评价技术导则-大气环境》附录 A 推荐模型中的 AERSCREEN 模式分析，污染点源计算参数和不同距离处碘-131 气溶胶落地浓度及吸入内照射待积有效剂量分别见表 11-15、表 11-16 和表 11-17。

表 11-15 点源污染源计算参数一览表

核素	排气筒高度 /m	排气筒出口内径 /m	排风量 (m^3/h)	烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	污染物排放速率 (Bq/h)
^{131}I	52	0.5	1500	环境气温	3.7×10^4

*注：排放时间按 8h 核算。

表 11-16 碘-131 所致公众年吸入量预测结果

场所	核素	排气口气溶胶浓度 (Bq/m^3)	最大落地浓度 (Bq/m^3)	最大落地浓度位置 (m)	公众年呼 吸量 (m^3)	公众吸入量 (Bq)	外照射转换 因子(Sv/Bq)	吸入内照射年有 效剂量 (mSv/a)
核医学科	^{131}I	24.7	1.21×10^{-2}	96	2400	22.7	7.4×10^{-9}	1.68×10^{-4}

备注：海东市主要风向：东风。

表 11-17 致公众浸没外照射预测结果

场所	核素	排气口气溶胶 浓度 (Bq/m^3)	最大落地浓度 (Bq/m^3)	浸没外照射转换因 子 $\text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3)$	浸没外照射全身剂量 (mSv/a)
核医学科	^{131}I	24.7	1.21×10^{-3}	1.82×10^{-14}	1.25×10^{-12}

根据表 11-16、11-17，公众碘-131 吸入量最大为 22.7Bq，小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）规定的公众成员吸入碘-131 放射性核素年最小摄入（吸入）导出限值 $1.3 \times 10^3 \text{Bq}$ （按 $0.1 \text{mSv}/\text{a}$ 约束限值导出），放射性气溶胶所致公众最大受照射剂量为 $1.68 \times 10^{-4} \text{mSv}/\text{a}$ （ $=1.68 \times 10^{-4} + 1.25 \times 10^{-12}$ ），满足 $0.1 \text{mSv}/\text{a}$ 剂量约束值，因此本项目排放的放射性气溶胶对周围辐射环境影响较小。

三、水环境影响分析

本项目工作人员生活污水依海东市第二人民医院污水管道和医院污水处理站进

行处理，处理后达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预处理标准后，最终排入市政污水管网，对区域水体环境影响很小。

本项目核医学科新建一座三格并联衰变池，单格有效容积为 88.8m³，总有效容积 266.4m³，能满足 180 天内核医学科排入下水管道含碘-131、氟-18、钨-99m 核素放射性废水量。核医学科放射性废水通过衰变池暂存衰变 180 天后排入医院污水处理站进一步处理，经处理后应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 要求，最终排入市政污水管网，对地表水环境影响较小。

四、固体废物环境影响分析

本项目工作人员产生的少量生活垃圾，经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

本项目产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶、一次性口杯、擦拭纸巾、甲癌病人住院期间生活垃圾等以及使用过的钼钨发生器、退役放射源等，涉及的放射性核素包括：碘-131、钨-99m、氟-18、锶-89。其中含氟-18、钨-99m、锶-89 的放射性固废暂存衰变 30 天，含碘-131 放射性固体废物暂存衰变 180 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面沾污小于 0.08Bq/cm²， β 表面沾污小于 0.8Bq/cm²，经审管部门认可后，可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理后对环境影响较小。更换的放射源交由生产厂家进行回收，建设单位在购置放射源之前与放射源生产厂家签订回收协议。

五、声环境影响分析

本项目噪声主要来源于机房通排风系统的风机，噪声值低于 48dB(A)，噪声较小，经距离衰减、物体阻挡及吸声后，对医院厂界噪声的贡献较小，因此对项目所在区域声环境影响较小。

辐射事故影响分析

一、事故等级判断依据

《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）规定，根据辐射事故的性质、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（Ⅰ级）、重大辐射事故（Ⅱ级）、较大辐射事故（Ⅲ级）和一般辐射事故（Ⅳ级）等四级。

二、非密封放射性物质辐射事故影响分析

1、事故类型

根据污染源分析本项目核医学科可能存在的最大潜在辐射事故包括：

- (1) 放射性药物试剂发生丢失或被盗；
- (2) 试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染；
- (3) 发生火灾造成的放射试剂瓶撒漏。

2、判定因子：环境剂量率

(1) 事故情景假设

①放射性核素分装过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎，或放射性药物分装过程中造成放射性药物泄漏，本次以核素单日最大操作量计算。

②若发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③受照人员不考虑任何屏蔽措施。

(2) 剂量估算模式与参数选取

根据式 11-4~11-5，分别计算距辐射源 0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、5.0m、10m、12.6m 处的剂量率。

(3) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m~12.6m 范围内剂量率，计算结果见表 11-18。

表 11-18 放射性药物丢失和撒漏事故下不同距离处剂量率分布表

距源距离 (m)	各事故持续时段的 γ 射线剂量率 (mGy/h)		
	氟-18	锝-99m	碘-131
0.1	4.98×10^1	5.61×10^4	8.81×10^4
0.2	1.24×10^1	1.40×10^4	2.20×10^4
0.5	1.99	2.24×10^3	3.52×10^3
1.0	4.98×10^{-1}	5.61×10^2	8.81×10^2
2.0	1.24×10^{-1}	1.40×10^2	2.20×10^2
5.0	1.99×10^{-2}	2.24×10^1	3.52×10^1
10.0	4.98×10^{-3}	5.61	8.81
12.6 (500m ² 半径范围)	3.13×10^{-3}	3.53	5.55

(4) 事故后果

本项目放射性药品在撒漏情况下，500m²（半径为 12.6m）范围的环境剂量率超

过 0.1mSv/h，构成一般辐射事故。

3、判定因子：手部剂量

（1）事故情景假设

- ①假设发生事故时溅洒活度为单个病人操作活度；
- ②假设溅洒溶液在手部均匀分布，沾染面积取成人平均手部表面积 280cm²；
- ③假设事故处理时间持续 1min。

（2）最大潜在事故后果影响分析

根据《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing），不同放射性核素溅洒到手部时，每 1kBq·cm⁻² 对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量见表 11-19。

表 11-19 放射性溶液溅洒对手部造成的剂量计算表

核素	手部沾染活度 (kBq)	每 1kBq·cm ⁻² 对皮肤造成的剂量率 辐射剂量率 (mSv/h)	事故中皮肤受照剂量 (mSv)
氟-18	3.70×10 ⁵	1.95	42.9
钨-99m	7.40×10 ⁵	0.246	10.8
碘-131	7.40×10 ⁶	1.62	714

经计算，单次事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 714mSv，大于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，构成一般辐射事故。

综上，本项目非密封放射性物质使用过程中发生辐射事故时，最大可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。

三、V类放射源辐射事故影响分析

1、事故类型

放射源使用过程中可能存在的辐射包括：

- （1）暂存放射源受外力作用，放射源屏蔽容器破损，造成裸源事故；
- （2）暂存放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故；
- （3）辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

2、最大潜在事故后果影响分析

事故状态下，受照射剂量可用式 11-4、11-5 进行计算，不同距离处 γ 辐射剂量计算结果见表 11-20。

表 11-20 放射源裸露状态下辐射环境 γ 剂量率不同距离计算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)

预测点距源距离 (m)	锇-90 V类放射源
0.5 (事故状态下人员居留位)	4.74×10^1
1	1.19×10^1
2	2.96
3	1.32
4	7.41×10^{-1}
5	4.74×10^{-1}
10	1.19×10^{-1}
20	2.96×10^{-2}
30	1.32×10^{-2}
50	4.74×10^{-3}

根据表 11-20，锇-90 V类放射源丢失、被盗和失控状态下最大影响范围 (γ 辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$) 3m，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号），V类放射源丢失、被盗和失控状态下为一般辐射事故。

四、III类射线装置辐射事故影响分析

本项目所用 PET-CT 和 SPECT-CT 为III类射线装置，根据《射线装置分类办法》（国家环境保护总局第 26 号令），III类射线装置为低危险射线装置，事故时一般不会造成受照人员的放射损伤。

五、辐射事故综合分析

根据前述，本项目可能发生的最大潜在事故条件及事故等级见表 11-21。

表 11-21 放射物质最大潜在危害及事故等级

场所	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	影响范围 (小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$)	事故影响后果	事故等级
核医学科	非密封放射性物质	γ 射线、放射性物质泄漏 ①放射性药物试剂发生丢失或被盗； ②试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染； ③发生火灾造成的放射试剂瓶撒漏。	小于 12.6m	人员超剂量照射、环境释放量超标	一般辐射事故

	V类放射源	γ 射线	放射源丢失、被盗、失控。	小于 3m	人员超剂量照射	一般辐射事故
	III类射线装置	X射线	①辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。 ②安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成人员被误照射，引发辐射事故。	机房内	人员超剂量照射	一般辐射事故

根据表 11-21，本项目可能发生的辐射事故最大为一般辐射事故。

六、事故防范措施

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

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，减少药物撒漏事故的发生。发生撒漏等事故后，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污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边缘向中心擦拭，直到擦干污染区。

患者在初期用药后，遇到不良反应引起呕吐造成工作场所的污染，医院工作人员应立即打扫，主要的呕吐物将打扫至控制区专门设置的废物桶内，并作为固体废物处理，暂存于污物间内，地面再用专门的清洁工具清扫，此时会产生少量的放射性废水，清扫废水量较小，且该事件发生率较低，不会造成放射性废水量的显著增加。

撒漏或病人呕吐后造成的地面污染，在清洁后须用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

2、在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用 X 射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检

者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。

3、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。注射间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

4、加强对用药患者的管理，在不影响诊断的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对用药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面对指导，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。

5、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类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水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。

6、核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量计佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。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。

7、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

七、辐射事故应急措施

发生辐射事故时，采取的应急处理措施如下：

(1) 由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

(2) 因不慎造成放射性核素大面积污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，

避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污，最终去污标准需达到 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

（3）若发生放射性药物和放射源丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（环保、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

（4）放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

（5）如果出现人员误入射线装置机房或射线装置失控，应立即启动“紧急制动开关”关闭电源，并对受误照射人员进行医学诊断和观察。



表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用Ⅲ类射线装置、Ⅴ类放射源和非密封放射性物质工作场所的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

建设单位成立了辐射安全与防护管理领导小组（附件 2），成员组成见表 12-1。

表 12-1 放射诊疗质量与辐射安全管理委员会成员组成表

职务	人员
组长	陈道桢
副组长	白海东
成员	苏建华、王生美、薛长红、李豆毛吉、何树雄、徐英梅、李维平

辐射安全与防护管理领导小组下设办公室，办公室设在医务科，负责日常事务工作，领导小组的职责包括：①组织制定并落实辐射安全和防护管理制度；②定期组织对放射工作场所、设备和人员进行放射防护检测、监测和检查；③组织本机构放射工作人员接受专业技术、放射防护知识及有关规定的培训和健康检查；④制定辐射事故应急预案并组织演练；⑤记录本机构发生的放射事件并及时报告卫生行政部门。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 年修改）（环境保护部第 3 号令）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的相关管理要求，使用Ⅲ类射线装置、Ⅴ类放射源和非密封放射性物质工作场所的单位应当具备健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。建设单位需要制定的列于表 12-2。建设单位的安全管理制度文件见附件 4。

表 12-2 管理制度汇总对照表

序号	检查项目		落实情况
1	综合	辐射安全和防护管理规定（综合性文件）	已制定，需更新

2		放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	已制定
3		辐射工作场所安全保卫制度	已制定
		放射源管理制度（转让、使用、更换、返回、送贮）	需补充制度
4		射线装置管理制度	已制定
5		场所分区管理规定（含人流、物流路线图）	需补充制度
6		非密封放射性物质操作规程（分操作核素或诊治类别进行制定）	已制定
7		去污操作规程	已制定
8		射线装置操作规程	已制定
9	场所设施	辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度）	已制定
10		患者管理规定	需补充制定
11		放射性药物（体内）治疗病房管理规定	需补充制定
12		场所设施退役(报废)管理制度	需补充制定
13		监测方案	已制定
14	监测	监测仪表使用与校验管理制度	已制定
15		辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定
16		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定
17	人员	辐射工作人员健康管理制度	已制定
18		辐射工作人员岗位职责管理	已制定
19		辐射工作人员资质管理	需补充制定
20	应急	辐射事故/事件应急预案	已制定，需更新
21		放射性“三废”管理规定	已制定
22	三废	闲置（废弃）放射源管理制度	需补充制定
23	大纲	放射性治疗保证大纲及质量控制计划	需补充制定

建设单位需在医院辐射安全与防护管理领导小组组织下及时补充制定和修订上述各项规章制度，明确各科室人员责任，并严格落实。辐射安全与防护管理领导小组还需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善，同时建设单位应在辐射工作场所内将相关制度进行张贴上墙。

一、档案分类

辐射安全档案资料包括以下八大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”。

二、需上墙的规章制度

（一）《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。

（二）上墙制度的内容应字体醒目，简单清楚，体现现场操作性和实用性，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

三、人员培训

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019年 第57号）和《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）要求，医院承诺将尽快安排本项目核医学科辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加考核，取得成绩合格单后方可从事辐射工作。今后培训时间超过5年的辐射工作人员，需进行再培训。

辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及相关管理要求，建设单位应为辐射工作人员配备个人防护用品和个人剂量监测仪器，同时配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目个人剂量监测、工作场所及周围环境监测要求如下：

一、监测要求

辐射工作人员应按照国家规定配备个人防护用品和个人剂量监测仪器，同时配备必要的监测仪器对工作场所和周围环境进行辐射监测。个人剂量仪应有足够的可靠性、灵敏度和准确度。

二、个人剂量监测

建设单位辐射工作人员在日常接触辐射工作过程中应正确佩戴个人剂量计，个人剂量报警计应有足够的可靠性、灵敏度和准确度，对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置。对于核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，

应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。在辐射水平较高或者可能突然升高的地方工作时，工作人员应使用个人剂量报警仪。

每 90 天每名辐射工作人员的个人剂量计需送有资质单位进行检测，并建立个人剂量档案，信息包括：个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，建设单位应当将个人剂量档案终身保存。当出现个人剂量异常情况，核与辐射安全领导应及时组织调查，并进行相应的整改。

三、辐射工作场所监测要求

①监测内容：射线装置工作场所监测因子为：X-γ辐射剂量率，非密封放射性物质工作场所监测因子为：γ辐射剂量率、α表面沾污、β表面沾污及衰变池废水总α、总β。

②监测布点及数据管理：监测布点应与验收监测布点一致，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；

③监测频度：对于 X-γ辐射剂量率和α/β表面沾污应自行配备监测设备每 1 个月监测 1 次，废水总α、总β应在每次排放前委托有资质单位进行采样监测。另外建设单位需委托有监测资质的单位在项目正式投运前开展验收监测，并在投运后每年定期开展年度监测，并于每年 1 月 31 日前上报给青海省生态环境厅。

④监测范围：射线装置工作场所主要监测屏蔽墙、防护门、观察窗外以及楼上区域和穿线空洞外 X-γ辐射剂量率。非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等表面沾污，以及控制区内所有场所及控制区外邻近房间的γ辐射剂量率。

⑤监测设备：X-γ辐射剂量率仪、α/β表面沾污。

⑥质量保证：建设的开展自行监测应制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用上级监测部门的监测数据与建设单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案。对于第三方监测单位，应委托具有相应监测资质和范围的单位开展监测。

表 12-3 监测计划一览表

项目	工作场所	监测项目	监测范围	监测频次	监测设备
自主监测	射线装置工作	X-γ剂量率	机房四周屏蔽体外、防护门外、观察窗外、穿线孔	每季度一次（记录监测数据存档）	X-γ辐射剂量率仪

	场所		洞处		
	非密封放射性物质工作场所	α 表面沾污、 β 表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等	每季度一次（记录监测数据存档）	α/β 表面沾污仪
		γ 辐射剂量率	控制区内所有场所、控制区外邻近房间	每季度一次（记录监测数据存档）	X- γ 辐射监测仪
		α 表面沾污、 β 表面沾污	手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽	离开放射性工作场所前	α/β 表面沾污仪
委托监测	射线装置工作场所	X- γ 剂量率	机房四周屏蔽体外、防护门外、观察窗外、穿线孔洞处	（1）竣工环保验收监测；（2）编制辐射防护年度评估报告（每年）	X- γ 辐射剂量率仪
	非密封放射性物质工作场所	α 表面沾污、 β 表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等		α/β 表面沾污仪
		X- γ 剂量率	控制区、监督区		X- γ 辐射监测仪
	其他	个人剂量	所有辐射工作人员	一季度一次（需建立个人剂量档案）	个人剂量计
		总 β	衰变池排放口	每次排放前	委托监测

四、竣工环保验收

根据《建设项目环境保护管理条例》规定，建设项目需要配套建设的环保设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。本项目竣工后，建设单位应当按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的要求，由建设单位或其委托的有能力的技术机构编制本项目的竣工环境保护验收监测报告表，建设单位应当根据调查结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。如存在问题，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。对建设单位的其他要求如下：

（1）为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测报告表编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。

（2）建设单位在“其他需要说明的事项”中应当如实记载环境保护设施设计、施工和验收过程简况、环境影响报告表及其审批部门审批决定中提出的除环境保护设施外的其他环境保护对策措施的实施情况，以及整改工作情况等。

（3）相关地方政府或者政府部门承诺负责实施环境保护对策措施，建设单位应当积极配合地方政府或部门在所承诺的时限内完成，并在“其他需要说明的事项”中

如实记载前述环境保护对策措施的实施情况。

(4) 除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

①建设项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②建设项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③竣工验收监测报告表编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。建设单位公开上述信息的同时，应当向所在地生态环境局报送相关信息，并接受监督检查。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录“全国建设项目竣工环境保护验收信息平台”（“全国建设项目竣工环境保护验收信息平台”已于 2017 年 12 月 1 日上线试运行，网址为 <http://47.94.79.251>），填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，环境保护主管部门对上述信息予以公开。

辐射事故应急

一、医院成立了辐射安全与防护管理领导小组，下设辐射事故应急领导小组，全面负责医院的辐射事故应急工作。

二、为了加强对辐射工作场所的安全管理，保障公众健康，保护环境，医院制定了较为完善的《辐射事故应急预案》。该应急预案包括：应急组织结构，应急职责分工，辐射事故的应急响应工作程序（事故处理程序，事故处置措施，现场调查和监测，监测分析与诊断鉴定，应急联络电话），其内容较全、措施具体，针对性较强、便于操作，在应对辐射事故和突发性事件时基本可行。医院应做好应急人员的组织培训和应急救助的装备、资金、物资准备，并将本项目核医学科纳入应急适用范围。辐射事故应急应纳入本单位安全生产事故应急管理体系，定期组织演练。

三、一旦发生辐射事故，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组逐级上报当地生态环境主管部门，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。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工

作。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：海东市第二人民医院新建核医学科项目

建设单位：海东市第二人民医院

建设性质：扩建

建设地点：青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路 5 号海东市第二人民医院病房楼负 2 楼

医院拟在病房楼负 2 楼新建核医学科。核医学科为 1 个非密封放射性物质工作场所（属乙级非密封放射性物质工作场所），具体建设内容如下：

（1）甲癌治疗和甲状腺功能测定项目：使用非密封放射性物质碘-131 进行甲状腺功能测定和甲癌治疗，设置 2 间单人甲癌治疗病房。

（2）SPECT 诊断项目：建设一间 SPECT/CT 机房，在 SPECT/CT 机房内安装使用 1 台 SPECT /CT（属于Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质钨-99m（由钼钨发生器淋洗而来）开展 SPECT 显像诊断。

（3）PET 诊断项目：建设一间 PET/CT 机房，在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（属于Ⅲ类射线装置），使用非密封放射性物质氟-18 开展 PET 显像诊断，待型号确定后再进行校准源的匹配和环评登记备案工作。

（4）骨转移癌治疗项目：使用非密封放射性物质锶-89 进行骨转移癌治疗。

（5）敷贴治疗项目：密封放射源锶-90（V 类放射源）进行敷贴治疗。

二、产业政策符合性

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于淘汰类和限制类产业，符合国家产业政策。

三、本项目选址及平面布局合理性分析

本项目位置相对独立，不邻接产科、儿科、食堂等场所，且设置有单独的出入

口，核医学科避开了人群较集中的门诊大楼、收费处等人群稠密区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求，评价范围内职业人员和公众人员关注点处剂量率满足评价标准要求，同时 50m 评价范围内无自然保护、风景名胜区和生态红线等生态敏感目标，因此本项目选址合理。

（2）平面布置合理性分析

本项目核医学科布局相对封闭且独立，核医学科满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全的角度考虑，本项目平面布置及人流、物流路径是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

本项目核医学科拟建地监测点位的 X- γ 辐射剂量率范围在 0.071~0.104 μ Gy/h 之间，即在 71~104nGy/h 之间，属于当地正常天然本底辐射水平（注：根据生态环境部发布的《2023 年全国辐射环境质量报告》，青海省环境 γ 辐射剂量率自动监测年均值范围为 110~170nGy/h）。

五、环境影响评价分析结论

（一）辐射环境影响分析

经计算，在正常工况下，对辐射工作人员造成的附加有效剂量低于 5mSv/a 的职业人员剂量约束值；对公众造成的附加有效剂量低于 0.1mSv/a 的公众人员剂量约束值。

（二）大气的环境影响分析

本项目核医学科设置独立通排风系统，排风管道内置除碘活性炭过滤器，放射性废气经过滤后引至楼顶排放，总排口放射性废气排放满足《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS T613-2018）规定的公众成员吸入年最小摄入限值，同时对公众造成的吸入内照射待积有效剂量小于本次评价 0.1mSv 的公众人员年剂量约束限值。

（三）废水的环境影响分析

本项目工作人员生活污水依海东市第二人民医院污水管道和医院污水处理站进行处理，处理后达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预

处理标准后，最终排入市政污水管网，对区域水体环境影响很小。

本项目核医学科新建一座三格并联衰变池，单格有效容积为 88.8m^3 ，总有效容积 266.4m^3 ，能满足 180 天内核医学科排入下水管道含碘-131、氟-18、锝-99m 核素放射性废水量。核医学科放射性废水通过衰变池暂存衰变 180 天后排入医院污水处理站进一步处理，经处理后应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 要求，最终排入市政污水管网，对地表水环境影响较小。

（四）固体废物的环境影响分析

本项目工作人员产生的少量生活垃圾，经医院垃圾桶收集后定期由环卫部门清运。

项目产生的放射性固体废物主要是一次性注射器、针头、棉签、手套、口罩、空药瓶、一次性口杯、擦拭纸巾、甲癌病人住院期间生活垃圾等以及使用过的钼铈发生器、退役放射源等，涉及的放射性核素包括：碘-131、锝-99m、氟-18、锶-89。其中含氟-18、锝-99m、锶-89 的放射性固废暂存衰变 30 天，含碘-131 放射性固体废物暂存衰变 180 天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，经审管部门认可后，可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理后对环境影响较小。更换的放射源交由生产厂家进行回收，建设单位在购置放射源之前与放射源生产厂家签订回收协议。

本项目产生的固体废物经妥善处理对周围环境影响较小。

（五）声环境影响分析

本项目噪声主要来源于机房通排风系统的风机，噪声值低于 $48\text{dB}(\text{A})$ ，噪声较小，经距离衰减、物体阻挡及吸声后，对医院厂界噪声的贡献较小，因此对项目所在区域声环境影响较小。

六、事故风险与防范

医院制订的安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。医院制定的应急预案需按环评提出的要求进行完善。

七、环保设施与保护目标

医院现有和设计的环保设施配置较全，总体效能良好，可使本次环评中确定的保护目标所受的辐射剂量保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

八、医院辐射安全管理综合能力

医院辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，有辐射事故应急预案与安全规章制度；环保设施总体效能良好，可满足防护实际需要。在落实本报告提出的要求后，基本具备了使用Ⅲ类射线装置、V类放射源、乙级非密封放射性物质工作场所的综合管理能力。

九、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在青海省海东市乐都区碾伯街道乐康路5号海东市第二人民医院病房楼负2楼进行建设，从环境保护和辐射安全角度看是可行的。

建议

（1）在实施诊治之前，应事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响；应注意对陪护者的防护，使其在陪护患者的全程诊治中，所受的辐射剂量做到最小化。

（2）认真学习贯彻国家相关的环保法律法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

（3）不断提高工作人员素质，增强职工环保意识和安全意识，做好辐射防护设施、设备的维护保养，避免发生辐射事故。

承诺

（1）建设单位在办理辐射安全许可证前，注册并登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对建设单位所用射线装置的相关信息填写。

（2）尽快安排未取得成绩报告单的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加考核。

（3）建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的要求，由建设单位或其委托的有能力的技术机构编制本项目的竣工环境保护验收监测表，建设单位应当根据监测调查结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。如存在问题，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见，通过验收。

(4) 接受生态环境主管部门的监督检查。

项目竣工验收检查内容

根据《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院 682 号令），工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。项目投入运行后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，自行对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并依法向社会公开验收报告。本项目竣工环境保护验收一览表见表 13-1。

表 13-1 环境保护设施验收一览表

项目	设施（措施）	数量
辐射屏蔽措施	房间辐射屏蔽（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	/
	手套箱（正面 55mm 铅当量，操作窗为 45mm 铅当量铅玻璃，其他面为 45mm 铅当量）、自动核素分装仪	1 套
	注射器防护套（3ml, 1 个, 10mmPb; 5ml, 1 个, 10mmPb）	2 个
个人防护用品	个人剂量报警仪	4 台
	个人剂量计	10 个
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	5 套
	放射性活度计	2 台
	表面污染监测仪	2 套
	X、 γ 辐射检测仪	1 台
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套
	3 格并联池衰变池（每格有效容积为 88.8m ³ ）	1 座
放射性固废	放射性固废收集桶（10mm 铅当量）	6 个
	放射性固废暂存间	1 间
安全装置	储源室红外监控系统	1 套
	储源室防盗入侵报警装置	1 套
	控制区入口、出口单向门禁系统	1 套
	机房紧急止动开关	2 套, 每个机房 1 套
	机房工作状态指示灯（门-灯连锁）	2 套, 每个机房 1 套
	机房语音对讲装置	2 套, 每个机房 1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
通风系统	放射性废气独立通排风系统	4 套
	过滤系统	4 套
其他	控制区地面防渗	/
人员培训	辐射工作人员上岗考核	
规章制度	规章制度上墙	

应急管理	应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示 标牌、应急演练等）	
------	---------------------------------------	--

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:	
经办人:	单位盖章 年 月 日

审批意见:	
经办人:	单位盖章 年 月 日