

核技术利用建设项目

威海高区利民医院有限公司

核医学工作场所应用项目

环境影响报告表

威海高区利民医院有限公司

2025 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

威海高区利民医院有限公司

核医学工作场所应用项目

环境影响报告表

建设单位名称：威海高区利民医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：威海高新技术开发区沈阳路 96 号

邮政编码：264200 联系人：

电子邮箱： 联系电话： 1

表 1 项目基本情况

建设项目名称		核医学工作场所应用项目			
单位名称		威海高区利民医院有限公司			
法人代表	毕占岁	联系人		联系电话	
注册地址		威海高新技术开发区沈阳路 96 号			
项目建设地点		威海高新技术开发区沈阳路 96 号医院康复中心一层西南部			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	1200	项目环保投资 (万元)	100	投资比例(环保 投资/总投资)	8.33%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改扩建 ☐ 其它			占地面积 (m ²) 265
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	/		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			
	1.1 医院概况 威海高区利民医院有限公司 (2022-05 至现在) 成立于 2016 年 1 月, 曾用名威海吞武里医疗投资有限公司威里金海湾医院 (2016-01 至 2017-11)、威海威里医院有限公司 (2017-11 至 2020-04)、威海市高区利民医院有限公司 (2020-04 至 2020-05)、威海高区医院有限公司 (2020-05 至 2022-05), 威海高区利民医院系二级综合医院, 地处威海市高				

新区中心位置，医院救治能力辐射周边 20 余万人口，现有开放床位 337 张，自中心医院接管以来，逐渐得到当地百姓的认可，门诊、住院患者数量逐渐增多，月门诊量 5000 余人次，月出院病人 300 余人次，特别是高区医院卒中中心、胸痛中心、创伤中心启动以来，卒中、胸痛、创伤患者较前明显增多。目前已多次成功完成关节置换术、血管杂交术、胸腰椎骨折固定术、静脉曲张微创治疗、关节镜微创治疗、脑血管搭桥术、脑血管瘤夹闭术、胃肠道肿瘤根治术、肺段切除术、心脏支架植入术、脑血管支架植入术等高难度手术，使高区百姓在家门口即可享受到三甲医院的医疗服务。

2016 年 12 月威海吞武里医疗投资有限公司威里金海湾医院项目编制完成环境影响报告书，2016 年 12 月 23 日原威海市环保局高区分局作出“关于威海吞武里医疗投资有限公司威里金海湾医院项目环境影响报告书的批复”（威环高评字[2016]14 号），医院于 2020 年进行了扩建，威海市生态环境局于 2020 年 5 月 20 日对其进行了批复：威环高（2020）23 号，医院已完成验收，环保手续齐全。

医院地理位置见附图 1，医院平面布置见附图 2，医院现状周边影像见附图 3。

1.2 现有工程规模及辐射安全管理现

1.2.1 现有工程规模

医院现持有《辐射安全许可证》，许可种类和范围：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，有效期至 2026 年 11 月 23 日，证书编号为鲁环辐证[10595]，见附件 2。医院辐射安全许可证上登记有 2 台Ⅱ类射线装置和 8 台Ⅲ类射线装置，2 台Ⅱ类射线装置均已完成竣工环境保护验收，环保验收情况见下表，环保手续齐全；Ⅲ类射线装置均已进行环境影响登记备案。医院另拟新购置 1 台 DSA，项目于 2025 年 1 月 16 日取得威海市生态环境局批复，批复文号威环高【2025】02 号，该项目正在建设中，尚未增加到辐射安全许可证上。

威海高区利民医院有限公司辐射安全许可证所列项目情况见表 1-1。

表 1-1 辐射安全许可证许可辐射项目

序号	射线装置名称	类别	数量	活动类别	环评情况	验收情况
1	DSA	Ⅱ类	1	使用	2019 年 6 月 12 日威环辐表审【2019】6 号	2019 年 8 月 10 日通过竣工环保验收

2	DSA	II类	1	使用	2021年7月13日威 环高【2021】22号	2021年11月1日 通过竣工环保验 收
3	X线透视摄影系统	III类	1	使用	备案号: 20193710000100000121	
4	64排CT	III类	1	使用	备案号: 20193710000100000122	
5	乳腺机	III类	3	使用	备案号: 20193710000100000123	
6	X射线骨密度仪	III类	1	使用	备案号: 20193710000100000124	
7	数字化X射线摄影系统	III类	1	使用	备案号: 20193710000100000125	
8	口腔CT机	III类	1	使用	备案号: 20193710000100000126	
9	16排CT	III类	1	使用	备案号: 20213710000100000010	
10	256排CT	III类	1	使用	备案号: 20213710000100000016	

1.2.2 辐射安全管理现状

为了加强辐射安全和防护管理工作,医院签订了辐射工作安全责任书,成立了辐射安全领导小组,制定了各项辐射安全管理规章制度;现有辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托有资质单位开展,监测频次为每3个月检测一次,同时建立了个人剂量档案,每人一档;委托有资质单位对机房周边X-γ空气吸收剂量率开展年度监测;制定了《辐射事故应急处理预案》,定期开展辐射事故应急演练,在多年运行过程中,未发生过辐射安全事故;每年对射线装置的安全和防护状况进行年度评估,编写了年度评估报告,委托监测出具的监测报告与年度评估报告于每年1月31日前一并上报生态环境部门,同时将年度评估报告上传全国核技术利用辐射安全申报系统。

1.3 项目概况

为满足放射诊疗发展需求,医院拟对医院康复中心楼一层西南角区域进行改造,建设核医学工作场所一处,使用放射性核素 ^{18}F 及1台PET-CT开展放射诊断,使用放射性核素 ^{89}Sr 开展放射治疗。PET/CT拟使用 ^{22}Na 放射源进行校准。

本次评价涉及的放射性核素及射线装置如下:

表 1-2 本次环评涉及的放射性核素及射线装置情况表

非密封放射性物质						
序号	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	活动种类	场所等级	场所位置
1	¹⁸ F	3.7×10 ⁶	9.25×10 ¹¹	使用	乙级	核医学工作场所
2	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁷	1.48×10 ¹⁰	使用		
合计		3.33×10 ⁷	/	/		
放射源						
放射源名称		活度（Bq）×枚数	用途	活动种类	类别	场所
²² Na		3.7×10 ⁶ Bq×1 枚	设备质量控制	使用	V 类	核医学工作场所
²² Na		3.7×10 ⁵ Bq×6 枚	图像配准	使用	V 类	
射线装置						
装置名称		型号/厂家	管电压/管电流	活动种类	类别	场所
PET-CT		飞利浦 Ingenuity TF	140kV/663mA	使用	Ⅲ类	核医学工作场所 PET-CT 机房

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号)、《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部公告 2017 年第 66 号):

①本次医院拟建设核医学工作场所使用 ^{18}F , 开展放射诊断, 使用 ^{89}Sr 开展放射治疗, 日等效最大操作量为 $3.33 \times 10^7 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所(乙级: $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$)。

②本项目拟使用 PET-CT, 属于III类射线装置;

③PET/CT 拟使用 ^{22}Na 放射源进行质量控制、图像校准, 活度分别为 $3.7 \times 10^6 \text{Bq} \times 1$ 枚、 $3.7 \times 10^5 \text{Bq} \times 6$ 枚, 均属于 V 类放射源。

1.4 项目选址

医院建设项目环保手续齐全，本项目于现有院区内部进行建设，不新增用地。根据医院威海市自然资源和规划局颁发的不动产权证，医院用地属于医卫慈善用地及其他商服用地，房屋规划用途为医疗卫生，本项目用地符合当地规划。

医院拟建设核医学工作场所位于医院康复中心一层西南部，核医学工作场所外 50m 范围：北侧依次为医院康复中心楼高压氧仓、医院道路、院外道路、院外商业建筑（比目鱼商业酒店）等；东侧为医疗康复中心一层楼梯间、电梯间、侯梯厅、导诊台、医院停车场、沈阳路等；南侧为医院道路、医院门诊住院楼等；西侧地下停车场，西侧为医院原发热门诊更衣区（现已闲置）、医院道路、居民区。场所上方 2 层为康复中心康复区、3-12 层为病房，下方为地下停车场、送风机房、设备机房、拟建衰变池间等。依据国家《核医学辐射防护与安全要求》等规范标准的要求，本项目选址充分考虑了周围场所的安全，项目位于所在建筑一角，项目出入口不与康复中心楼共用，进出口独立，周围无人长期居留，场所周围设计有实体屏蔽墙（物理隔离）和单独的人员、物流通道，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，场所独立布置，设有单独的出、入口，项目患者由场所南端出场所后可直接由医院道路离开医院，场所出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密处，与非放射性工作场所有明确的分界隔离，周围少有人经过，且场所排风口位于本建筑屋顶并尽量远离周围高层建筑，项目核医学工作场所周围 50m 评价范围内除所在康复中心楼外，南侧存在一座门诊住院楼、西侧为居民楼、北侧存在一处商业建筑。经下文分析，上述环境保护目标处的辐射水平及公众受照剂量可满足国家相关要求，故本项目选址合理。

1.5 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类：三十七、卫生健康—“1、医疗服务设施建设”，符合国家产业政策。

1.6 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“4.3 辐射防护要求”、“4.3.1 实践正当性 4.3.1.1 对于一项实践，只有在考虑社会、经济和其他因素之后，其对受照个人和社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的”。

放射性治疗及诊断应用项目有其他技术无法替代的特点，在诊断及治疗病情方面能起

到十分重要的作用。本项目的应用将为病人提供一个优越的诊疗环境，提高人民生活质量，具有明显的社会效益；同时将提高医院的档次和服务水平，吸引更多的就诊人员，在保证病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。因此，本项目的应用也对受辐射照射的个人和社会创造了更大的经济效益。在采取相应辐射安全防护措施的情况下，运行过程中产生的辐射影响可以满足国家有关要求，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

1.7 目的和任务由来

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年新版）：“制备 PET 用放射性药物的；医疗使用 I 类放射源的；使用 II 类、III 类放射源的；生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的”核技术利用建设项目应编制环境影响报告表。本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，应编制环境影响报告表。

根据《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）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号）等有关规定，受威海高区利民医院委托，我单位承担了该项目的辐射环境影响评价工作。接受委托后，在进行现场勘察、充分收集和分析有关资料、实地辐射环境监测及分析预测评价的基础上，依照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016），编制了该项目的环境影响报告表。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	²² Na	3.7×10 ⁶ Bq×1 枚	V 类	使用	设备质量 控制	核医学工作场所 PET-CT 机房	核医学工作场所储 源间储源柜内	新增
2	²² Na	3.7×10 ⁵ Bq×6 枚	V 类	使用	图像配准			新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大操 作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式 与地点
1	¹⁸ F	液体、低毒组、半衰期 1.83h	使用	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁶	9.25×10 ¹¹	放射诊断	很简单 操作	核医学 工作场 所	储源间内
2	⁸⁹ Sr	液体、中毒组、半衰期 50.5d	使用	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷	1.48×10 ¹⁰	放射治疗	简单的 操作		

表 4 射线装置

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	140	663	放射诊断	核医学工作场所 PET-CT 机房	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态	^{18}F	/	/	/	衰变池	在衰变池衰变大于 30 天后直接排入医院污水处理站处理，最终排入城市污水管网
放射性固体废物	固态	^{18}F	/	/	/	含 ^{18}F 放射性废物衰变箱	暂存时间不小于 30 天，并检测达标后作一般医疗废物处理
	固态	^{89}Sr	/	/	/	含 ^{89}Sr 放射性废物衰变箱	暂存时间不小于 1.5a，并检测达标后作一般医疗废物处理
废活性炭/废过滤器	固态	^{18}F 、 ^{89}Sr	/	/	/	衰变箱	衰变至解控水平后，按一般医疗废物处理
放射性废气	气态	^{18}F 、 ^{89}Sr	/	/	/	/	活性炭吸附后，高出康复中心楼 3m 排放
剩余放射性药物	液态	^{18}F 、 ^{89}Sr	/	/	/	贮存于手套箱铅罐内	随铅罐由供货厂家回收
退役 ^{22}Na 放射源	固态	^{22}Na	/	每 2 年更换 1 次	/	不暂存	由厂家回收

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/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、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》，中华人民共和国主席令第 9 号，2014 年； (2)《中华人民共和国环境影响评价法》，全国人民代表大会常务委员会，2018 年 12 月 29 日施行； (3)《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年； (4)《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年； (5)《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，2005.12 实施，2014.7 第一次修订，2019.3 第二次修订； (6)《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部 部令 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (7)《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会 公告第 66 号，2017 年； (8)《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环境保护总局公告第 62 号，2005 年； (9)《放射性废物安全管理条例》，国务院第 612 号公布，2012 年 3 月 1 日起施行； (10)《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布 自 2024 年 2 月 1 日起施行； (11)《关于发布<放射性废物分类>的公告》环境保护部公告第 65 号，2017 年 ； (12)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年； (13)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，国家环境保护总局，环发[2006]145 号，2006 年； (14)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，国家环境保护总局令第 31 号，2006.1 施行，2008.12 第一次修订，2017.12 第二次修订，2019.8 第三次修订，2021.1 第四次修订； (15)《山东省辐射污染防治条例》，山东省人民代表大会常务委员会公告（第 37 号），
------	---

	2014 年; (16)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环境保护部，环办辐射函〔2016〕430 号。 (17)《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部分辐射源安全监管司，辐射函[2023]20 号，2023.9.11。
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》(HJ10.1—2016); (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002); (3)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021); (4)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021); (5)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020); (6)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021); (7)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002); (8)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019); (9)《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010); (10)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020); (11)《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ114-2006)。
其他	(1) 威海高区利民医院有限公司辐射环境影响评价委托书及其提供的相关技术资料; (2)《辐射防护手册》第一分册《辐射源与屏蔽》(李德平主编); (3)《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》(山东省环境监测中心站, 1989 年)。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 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》（HJ10.1-2016）规定要求：“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”。

本项目核技术利用类型为乙级非密封放射性物质工作场所，本次评价范围为核医学工作场所（乙级）实体屏蔽物边界外 50m 的区域内。

7.2 保护目标

本项目的评价保护目标为本项目相关工作人员及场所周围活动的公众成员，应确保在该区域活动的公众和工作人员所受到的辐射剂量低于国家规定的限值。

本工程 50m 评价范围内院内建筑主要包括门诊住院楼、康复中心楼、西侧蓝天广场小区、西北侧盛德松苑小区、北侧商业建筑（比目鱼商务酒店），敏感目标影响人员主要包括评价范围内各建筑内及建筑外辐射工作人员及公众成员，本项目主要环境保护目标情况见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标一览表

保护目标名称		人员及分布	方位及距离	敏感目标规模特征
威海高区利民医院核医学工作场所应用项目	威海高区利民医院	辐射工作人员：5 名 公众成员：医院非辐射工作人员约 1400 人，就诊患者等流动人员	核医学科所在建筑，门诊住院楼位于项目南侧 10m	康复中心楼为地上 13 层，地下 2 层建筑 门诊住院楼为地上 12 层（裙楼部分 4 层）
	西侧蓝天广场小区	公众成员：约 200 人	西侧 15m	9 号楼：7 层楼房； 6 号楼：7 层楼房。
	西北侧盛德松苑小区	公众成员：约 100 人	西北侧 30m	203 号楼：8 层楼房；
	北侧商业建筑（比目鱼商务酒店）	公众成员：约 100 人	北侧 35m	地上 5 层楼房

保护要求：通过对本项目辐射环境影响进行评价，确保核医学工作场所周围辐射水平

及在评价范围内活动的公众和职业人员所受到的辐射剂量均低于国家规定的限值。

7.3 评价标准

7.3.1 工作场所辐射剂量率控制水平

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(国家核安全局,辐射函〔2023〕20号):

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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

本条规定的具体含义为:

1.控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$),周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $< 1/2$),如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置,周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

本评价采用 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 作为工作场所边界屏蔽体外30cm处及控制区内工作人员经常性停留的场所(高活室,人员居留因子 $\geq 1/2$)剂量当量率目标控制值;采用 $10\mu\text{Sv/h}$ 作为控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $< 1/2$);以 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 作为手套箱外表面30cm处人员操作位的剂量当量率目标控制值,以 $25\mu\text{Sv/h}$ 作为手套箱非正对人员操作位表面的剂量当量率目标控制值。

7.3.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002):

第4.3.2.1款应对个人受到的正常照射加以限制,以保证本标准6.2.2规定的特殊情况

外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

附录 B

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

B1.2 公众照射

B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv。

参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第 4.4.2 款剂量约束值：一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

因此，本次项目选取的剂量约束值为：职业照射的剂量约束值为 5mSv/a，公众照射剂量约束值为 0.1mSv/a，以 20mSv/a、125mSv/a 分别作为职业工作人员眼晶体、职业工作人员手部的年管理剂量约束值。

7.3.3 表面放射性污染的控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 规定：

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限值要求。

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如下表所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 Bq/cm²

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

注：1) 该区内的污染子区除外

7.3.4 非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定：

非密封源工作场所的分级应按附录 C (标准的附录) 的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按下表将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量, Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

附录 C 提供的非密封源场所放射性核素日等效操作量计算方法计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

7.3.5 放射性物质向环境排放的控制

7.3.5.1 放射性废液

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b)所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期(含碘-131 核素的暂存超过 180 天)，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

7.3.5.2 放射性废物

①清洁解控水平

根据GB18871-2002：除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录A所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录A中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

GB18871-2002 附录 A 中表 A1 给出了作为申报豁免基础的豁免水平：放射性核素的豁免活度浓度。

表 7-4 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值（Bq/g）

解控水平（Bq/g）	核素
1×10^3	^{89}Sr
1×10^1	^{18}F
注 1：上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生小量放射性固体废物的医学应用或实验室。	
注 2：严禁为申报清洁解控水平而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。	

②《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10

倍；

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4 Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm²。

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

7.3.5.3 密闭和通风要求

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)：

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

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

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

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

7.3.4 环境天然放射性水平

根据山东省环境监测中心站 1989 年所出具的《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，本次评价以烟台市（当时威海市属于烟台市）环境天然 γ 空气吸收剂量率作为本项目

天然辐射水平的参考。烟台市环境天然 γ 空气吸收剂量率见表 7-5。

表 7-5 烟台市环境天然辐射水平($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)

监测内容	范 围	平均值	标准差
原 野	2.14~12.05	5.84	1.66
道 路	1.94~20.14	6.49	2.39
室 内	4.56~20.53	10.11	2.71

注：摘自山东省环境监测中心站《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》，1989 年。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理及场所位置

本次评价项目核医学工作场所位于沈阳路 96 号医院康复中心一层西南部,核医学科所在康复中心一层改造前平面布置见附图 4,核医学科所在康复中心一层改造后平面布置见附图 5,康复中心二层平面布置见附图 6(核医学科上方对应楼层),康复中心地下一层平面布置见附图 7(核医学科下方对应楼层),康复中心地下二层平面布置见附图 8(衰变池间下方对应楼层),项目场址及周围现状照片见附图 9。本项目核医学工作场所四周环境详见表 8-1。

表 8-1 场所周围环境一览表

名称	方 向	50m 范围内场所名称
核医学工作场所	北 面	康复中心高压氧仓、医院道路、北侧商业建筑(比目鱼商务酒店)
	东 面	康复中心侯梯厅、电梯、楼梯间、医院停车场、沈阳路
	南 面	医院道路、医院门诊住院楼
	西 面	医院道路、蓝天广场小区,西北侧盛德松苑小区
	楼 上	康复中心楼康复区、康复中心病房
	楼 下	衰变池间、设备机房、地下停车场

8.2 辐射环境现状监测与评价

8.2.1 监测方案

为了解辐射环境现状,本次评价根据 HJ61-2021,于 2025 年 4 月委托山东鲁环检测科技有限公司对项目拟建场址的 γ 辐射剂量率、土壤总放射性进行了监测。监测方案如下所示:

1、环境现状评价对象

本项目拟建场址及周围辐射环境现状。

2、检测因子

γ 辐射剂量率、土壤总放射性

3、检测点位

本次在医院拟建项目区域周围进行布点监测, γ 辐射剂量率及土壤检测布点见图 10、

11。

本次在拟建核技术利用项目场址拟建位置及四周布点，对辐射剂量率进行监测。

为了解场址周围土壤辐射水平，拟在场址附近及上下风向各布设一个点位。

距离本项目最近的气象站为威海气象站，台站类别属一般站。威海近 20 年（2003～2022 年）年最大风速为 20m/s（2003 年），极端最高气温和极端最低气温分别为 37.4℃（2003 年）和-12℃（2016 年），年最大降水量为 1233.8mm（2007 年）。

近 20 年各风向频率见表 8-2，图 8-1 为威海站近 20 年年风向频率玫瑰图。

表 8-2 威海气象站近 20 年（2003 年~2022 年）各风向频率

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
风频(%)	6.9	5.0	5.0	3.2	2.9	2.6	2.4	3.9	12.8
风向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C	-
风频(%)	9.0	5.7	3.8	5.7	6.7	9.8	11.0	3.6	-

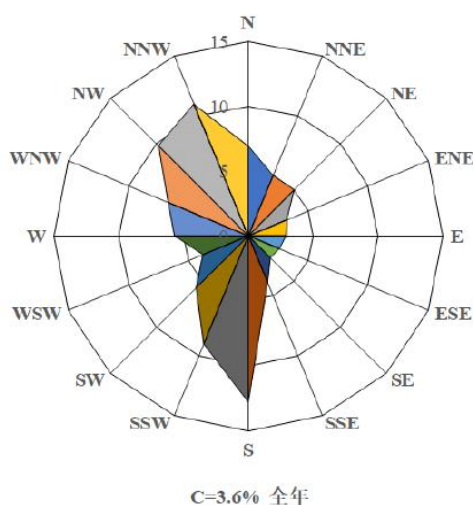


图 8-1 威海站近 20 年（2003~2022 年）平均风向频率玫瑰图

根据上述资料，当地常年主导风向为 S 风，本次土壤放射性监测点位，分别布在当地常年主导风向的上风向即核医学拟建位置南侧及下风向即核医学拟建位置北侧。

8.2.2 质量保证措施

1、检测单位

本次评价委托具备相关检测资质的山东鲁环检测科技有限公司开展检测，资质认定证书编号为：211512341945。（资质附后）

2、检测仪器

①名称：环境监测 X- γ 辐射空气吸收剂量率仪

型号：FH40G+FHZ672E-10 编号：031576+11309

检定单位：山东省计量科学研究院

检定证书编号：Y16-20250527 有效期至：2026 年 03 月 16 日

环境 γ 剂量率测量系统主机（FH40G）

量程范围：10nSv/h~1Sv/h

能量响应：33KeV~3MeV，变化的限值为 $\pm 15\%$

剂量率指示的固有误差：不大于 5.0%

天然本底扣除(NBR)探测器（FHZ672E-10）：

量程范围：1nSv/h~100 μ Sv/h

能量响应：8keV~4.4MeV 相对响应之差 $<15\%$ (相对于 ^{137}Cs 参考 γ 辐射源)

使用环境温度：(-30~+55 $^{\circ}\text{C}$) 温度依赖性 $<20\%$

②名称：低本底 α β 测量仪 型号：WIN-8A

出厂编号：180701 有效期至：2026 年 06 月 26 日

检定单位：山东省计量科学研究院

检定证书编号：Y15-20240168

生产厂家：山东海强环保科技有限公司

α / β 交叉性能：3%的 α 进入 β 道，0.5%的 β 进入 α 道

效率稳定性：仪器连续通电 8 小时，探测器效率变化小于 10%

3、检测依据、方法

1.HJ 61-2021 辐射环境监测技术规范

2.HJ 1157-2021 环境 γ 辐射剂量率测量技术规范

3.土壤参照 ISO 18589-6:2019(E)《环境放射性的测量-土壤-第 6 部分：总 α 和总 β 活度的测量》

4、设备保证措施

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

5、其他保证措施

本次由两名检测人员共同进行现场检测，由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。检测时获取足够的数据量，以保证检测结果的统计学精度。建立完整的文件资料、仪器校准（测试）证书、检测布点图、测量原始数据、统计处理记录等全部保留，以备复查。检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，最后由技术负责人审定。

8.2.3 检测时间与条件

γ辐射剂量率监测及土壤总放射性

检测及采样时间：2025 年 4 月 25 日

环境条件：

天气 晴、 温度 16℃、 湿度 42%

土壤总放射性实验室分析时间：2025 年 4 月 25 日~2025 年 4 月 30 日

8.2.4 监测结果

γ 辐射剂量率监测结果见表 8-3。

表 8-3 本项目场址周围 γ 辐射剂量率检测结果

序号	点位描述	监测结果 (nSv/h)	标准差	地面情况
A1	核医学工作场所拟建位置	132	2.1	塑胶地面
A2	核医学工作场所拟建位置东侧	145	2.2	瓷砖地面
A3	核医学工作场所拟建位置南侧	127	1.9	水泥地面
A4	核医学工作场所拟建位置西侧	105	1.1	水泥地面
A5	核医学工作场所拟建位置北侧	118	2.4	塑胶地面
A6	核医学工作场所拟建位置上方	130	1.9	塑胶地面
A7	核医学工作场所拟建位置下方	164	1.8	水泥地面
A8	衰变池拟建位置	166	1.6	水泥地面

A9	门诊住院楼	130	2.0	水泥地面
A10	医院西侧居民楼	117	1.9	水泥地面
A11	医院北侧商业建筑	140	1.7	水泥地面

注：1.检测结果已扣除宇宙射线响应值 16.8nSv/h；

2.检测点位均距地面 1.0m；

3.建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，本项目室内检测点位取 0.8（楼房），室外检测点位取 1（道路）。

表 8-4 土壤放射性检测结果

序号	监测点位	总β放射性 (Bq/kg)
B1	核医学工作场所拟建位置上风向	490
B2	核医学工作场所拟建位置	549
B3	核医学工作场所拟建位置下风向	468

注：因项目位于城市建成区，周围地面硬化率高，土壤采样点位位于道路旁绿化带内，可实现后期跟踪监测。

8.2.5 监测结果评价

① γ 空气吸收剂量率

根据《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》（1989）资料（表 5-6）和本项目监测结果（表 6-3），本项目拟建位置周围环境γ辐射剂量率现状值为 105~166nSv/h（10.5~16.6×10⁻⁸Sv/h），本项目监测设备使用 ¹³⁷Cs作为检定参考辐射源，根据HJ1157-2021，使用 ¹³⁷Cs作为检定参考辐射源，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy，换算后，拟建区域中心位置及周围环境γ空气吸收剂量率现状值为（8.75~13.83）×10⁻⁸Gy/h，与烟台地区环境γ辐射空气吸收剂量率处于同一范围[室内（4.56~20.53）×10⁻⁸Gy/h、道路（1.94~20.14）×10⁻⁸Gy/h]。

②土壤放射水平

根据监测结果，医院核医学科附近土壤总β为 468~549Bq/kg，参考根据《南水北调东线山东段沿线土壤的放射性水平》（邓太平、许家昂等，中国辐射卫生 2006 年 12 月第 15 卷第 4 期），南水北调沿线土壤中总β活度浓度均值范围为（0.63~50.76）×10²Bq/kg,处于本底水平。本项目周围土壤中放射性水平处于本底水平范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工艺流程简述

本项目核医学工作场所拟在现有建筑的基础上进行改建，本次施工期主要包括拆除部分墙体、新建部分墙体、对地板、室顶等的防护工程以及设备安装工程等，建设内容较少。本项目施工期工艺流程及产污环节见图 9-1。施工期可能的污染因素主要为常规环境要素，无辐射影响。

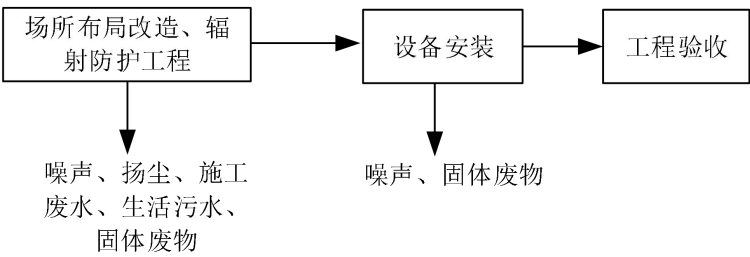


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节

9.2 营运期工艺流程

9.2.1 项目概况

1、核素订购及使用剂量

(1) ¹⁸F

根据医院提供的资料，¹⁸F 诊断场所接待患者每日最多 10 人，每人最大用量为 3.7×10⁸Bq（10mCi），每日最大使用量 3.7×10⁹Bq（100mCi），年最大工作 250 天，年最多接待患者 2500 人，每年最大使用量 9.25×10¹¹Bq（25Ci）。分装好的 ¹⁸F 由工作人员在每日开始诊断前，由售源单位运至场所内储源间。

(2) ⁸⁹Sr

本项目拟新增核素 ⁸⁹Sr 用于肿瘤治疗。⁸⁹Sr 治疗每日最多接诊 2 人，每人用量最大 1.48×10⁸Bq（4mCi），日最大使用量 2.96×10⁸Bq（8mCi），医院计划每周最大开展 1 次治疗，年工作 50 周，每年最多接诊 100 人，每年最大使用量 1.48×10¹⁰Bq（0.4Ci）。

本项目核医学工作场所核素用量见下表：

表 9-1 核医学工作场所涉及的核素使用详情

核素	每人最大用量 Bq	日患者最大人数	日实际最大操作量 Bq	年最大接诊人数	每年最大用量 Bq
^{18}F	3.7×10^8	10	3.7×10^9	2500	9.25×10^{11}
^{89}Sr	1.48×10^8	2	2.96×10^8	100	1.48×10^{10}

2、使用核素 ^{18}F 扫描诊断

(1) PET-CT 扫描诊断工作原理（使用 ^{18}F ）

PET(Positron Emission Tomography, 正电子发射型计算机断层显像)是目前最先进的放射性核素显像技术。PET工作的原理是利用 ^{18}F 等正电子核素标记或合成相应的显像剂,引入机体后定位于靶器官,这些核素在衰变过程中发射正电子,这种正电子在组织中运行很短距离后,即与周围物质中的负电子相互作用,发生湮没辐射,发射出方向相反、能量相等(511keV)的两个光子。PET显像是采用一系列成对的互成 180° 排列并与符合线路相连的探测器来探测湮没辐射光子,从而获得机体正电子核素的断层分布图及病变的位置、形态、大小、代谢和功能,对疾病进行诊断。

CT是利用X射线对人体解剖结构的密度差异进行成像的断层显像技术。CT提供的信息可显示机体组织脏器解剖结构的改变,发现病变并可以确定其范围及周围组织脏器的毗邻关系。

PET-CT是将PET和CT两个已经相当成熟的影像技术相融合,实现了PET和CT图像的同机融合。使PET的功能影像与螺旋CT结构影像两种显像技术的优点融于一体,形成优势互补,一次成像即可获得PET图像,又可获得相应部位的CT图像及PET-CT的融合图像,即可准确地对病灶进行定性,又能准确定位,PET和CT结果可以互相印证,相互补充,使PET-CT的诊断效能及临床实用价值更高。X射线CT、核磁共振扫描数据还可用于PET图像的衰减校正,大大缩短了PET检查时间。PET工作原理示意图见图9-2。

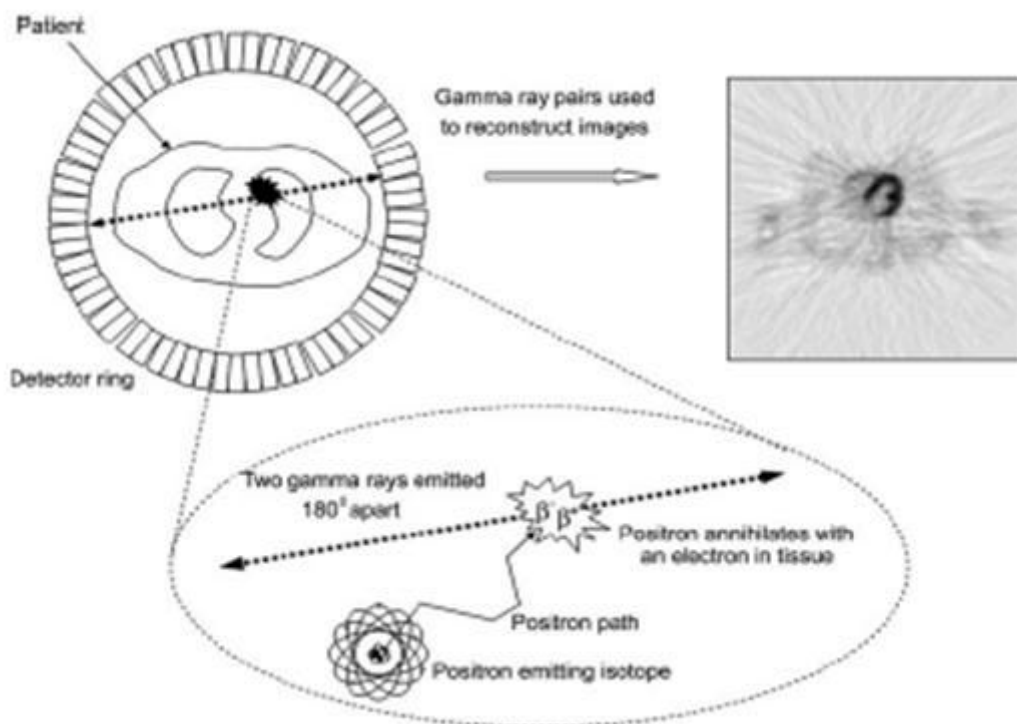


图9-2 PET工作原理示意图

PET使用正电子示踪剂（如 ^{18}F ），核素释放的正电子在组织内移行的距离很短，依据能量的不同一般在 10^{-1}cm 到 10^{-2}cm 的范围内。

核素衰变过程中正电子从原子核内放出后很快与自由电子碰撞湮灭，转化成一对方向相反的 γ 光子。在光子飞行方向上设置一对探测器，几乎可同时接受到这两个光子，通过环绕 360° 排列的多组配对探头，得到探头对连线上的一维信息，将信号向中心点反投射并加以适当的数学处理，便可形成断层示踪剂分布图像。正电子发射及其湮灭反应如下：

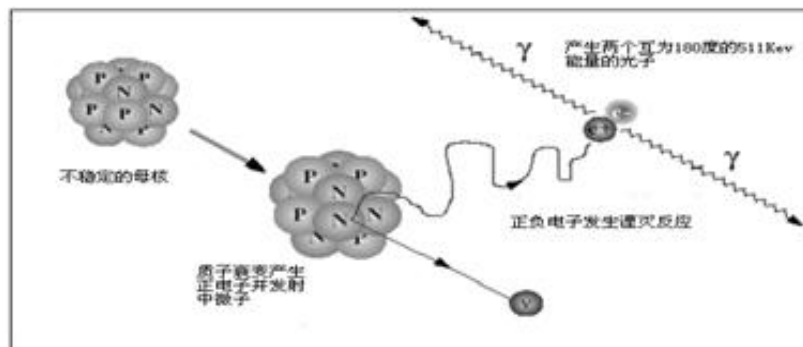
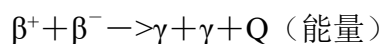


图 9-3 正电子发射及其湮灭



图 9-4 PET-CT 示意图

当由正电子放射性核素所标记的示踪剂（显像剂）注入血流后，到达全身，聚集在特定的器官或某一部位，凡代谢率高的组织或病变在PET上呈明确的高代谢亮信号，凡代谢率低的组织或病变在PET上呈低代谢暗信号。

由于 PET 图像解剖结构不清楚，CT 功能采用 X 线对 PET 图像进行衰减校正，大大缩短了数据采集时间，提高了图像分辨率。利用 CT 图像对 PET 图像病变部位进行解剖定位和鉴别诊断。所以 PET/CT 从根本上解决了核医学图像解剖结构不清楚的缺陷，同时又采用 CT 图像对核医学图像进行全能量衰减校正，使核医学图像真正达到定量的目的并且提高诊断的准确性，实现了功能图像和解剖图像信息的互补。

医院拟购 PET-CT 使用 ^{22}Na 源用于衰减校正，约 5 年更换一次。 ^{22}Na 源绕人体旋转一周完成透射扫描（Transmission Scan）就能取得沿所有符合线的衰减结果与没有患者时的空扫（Blank Scan）结果相比得到衰减量，用它作除数因子就可以对相应投影值进行衰减校正。

（2）扫描流程

1) 病人扫描流程

PET-CT显像检查主要通过给受检者注射放射性标记药物，如 ^{18}F ，并利用正电子发射型计算机断层显像系统（PET-CT）对受检者全身或者相关脏器进行诊断检查。

检查流程如图9-5:

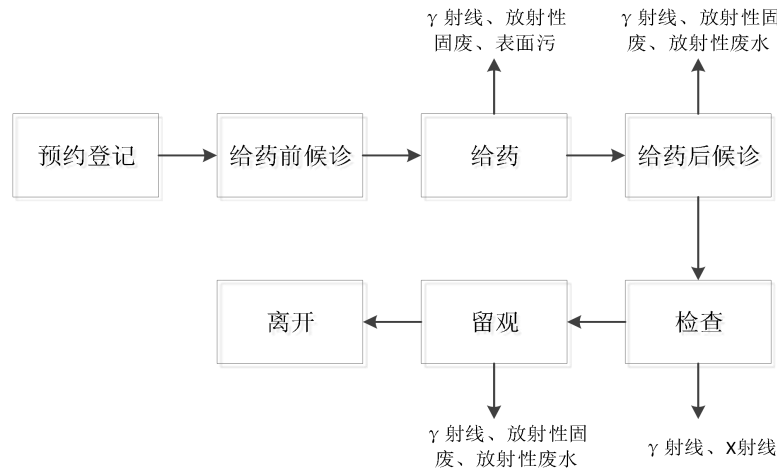


图 9-5 诊断检查流程及产物环节图

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量；

②受检者按约定时间在工作场所西侧候诊区准备和等候；

③听到叫号后，患者由场所西侧患者入口进入场所，患者场所注射窗前接受注射，注射医务人员穿戴好个人防护用品，按照预约给病人选择已分装好的注射器（内含分装好的药物），随机进行活度测定，在注射窗前为受检者注射药物，注射时间平均约10s/每人；

④施药后受检者经患者专用通道进入相应的注射后候诊室，在注射后候诊室休息一定时间（根据疾病类型和病人情况休息时间不同），等待检查；

⑤注射药物的受检者从注射后候诊室直接进入PET-CT机房检查，医务人员配合受检病人摆好位后进入操作间进行隔室操作，检查时间根据疾病类型和病人情况休息时间不同；

⑥检查完成后，PET受检者留观10~20min，受检者通过工作场所南侧的患者专用出口离开工作场所，至康复中心外离开医院。场所出口周围少有人经过，场所患者路径设置合理。

2) 药物使用流程

医院拟由供源单位购置放射性药物，本项目 ^{18}F 由售源单位工作人员负责运输，在诊疗工作开始前，运输人员经医院道路至场所南侧患者出口处卸货，经患者出口进入场所，后沿场所患者走廊经注射室东南侧防护门进入注射室、储源间。药物使用时，工作人员在

储源间取药，在注射室手套箱内经活度检测后将药物转移至注射窗前通过注射窗口为病人注射。

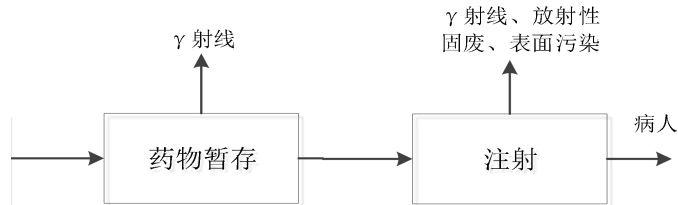


图 9-6 药物使用流程图及产污环节图

3、使用核素 ^{89}Sr 治疗

(1) ^{89}Sr 治疗机理

^{89}Sr 注射液为转移癌性骨痛的治疗剂。 ^{89}Sr 是钙族元素，为一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，发射平均能量为 1.463MeV 的 β 射线，半衰期为 50.5 天，其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

(2) 治疗流程

治疗流程如图9-7:



图 9-7 治疗流程及产污环节图

- ①根据医生指导意见，需要接受核素治疗的人员提前预约登记，确定用药量；
- ②受检者按约定时间在场所西侧注射前候诊区做给药前准备和等候；
- ③准备好的患者由核医学工作场所中部患者进出防护门经过患者专用通道进入场所，按照预约给病人选择已分装好的注射器（内含分装好的药物），随机进行活度测定，在注射窗前为受检者注射药物，注射时间平均约10s/每人；
- ④患者在注射窗口处进行施药治疗，施药后受检者通过核医学工作场所南部的患者出

口离开核医学工作场所。

(4) 药物使用流程

医院拟由供源单位购置放射性药物，本项目 ^{89}Sr 由售源单位工作人员负责运输，在诊疗工作开始前，运输人员经医院道路至场所南侧患者出口处卸货，经患者出口进入场所，后沿场所患者走廊经注射室东南侧防护门进入注射室、储源间。药物使用时，工作人员在储源间取药，在注射室手套箱内经活度检测后将药物转移至注射窗前通过注射窗口为病人注射。



图 9-8 药物使用流程图及产物环节图

4、场所人流物流路线

1) 患者路线

①为防止患者交叉照射， ^{18}F 诊断及 ^{89}Sr 治疗分时段进行，患者由核医学工作场所西侧入口进入，在护士站登记后，在场所西侧注射前候诊区候诊，由注射前候诊区护士站南侧走廊进入护士办公室东侧的注射前候诊区听到叫号后，由场所中部患者专用通道进入核医学工作场所，进入场所后在注射室东侧注射窗注射， ^{18}F 诊断注射后进入相应的注射后候诊室等待，根据叫号进入PET-CT机房进行扫描检查，PET扫描患者检查后在留观室留观，留观无异常后，由场所南侧出口出场所控制区， ^{89}Sr 治疗患者注射后由场所南侧出口出场所控制区，患者出口外为门诊住院楼与康复中心楼之间医院道路，患者可直接离开。

2) 医护人员路线

核医学工作场所涉及核素操作的医护人员经护士站东侧工作人员入口进入卫生通过间、注射室、储源间等操作，结束诊疗后经卫生通过间原路离开工作场所。PET-CT 控制工作人员由场所卫生通过间南侧入口进入控制室工作，结束诊疗后原路返回离开。

3) 药物路线

本项目拟使用核素拟由售源单位工作人员负责运输，运输人员在诊疗工作开始前在场所南侧患者出口处卸货，经患者出口进入场所，后沿场所患者走廊经注射室东南侧防护门进入注射室、储源间。使用核素时，工作人员进入场所在手套箱内测定后，然后将药物转移至注射窗口通过注射窗口为病人注射。放射性药物由核医学科专人负责接收，并做好台账。放射性药物运输选择在人员活动较少的清晨时段，避免对无关人员造成影响。

4) 放射性废物路线

本项目核医学工作场所的放射性废物收集后置于固废间衰变箱中贮存，衰变后经检测满足清洁解控水平后，可按一般医疗废物处理，放射性核素诊疗工作场所固废运出工作在人员活动较少的清晨或诊疗结束后进行，固废间内固废在确认解控后，经注射室东南角防护门出注射室，经患者走廊向南运出场所经院内道路转运至医院医废暂存场所，交由具有相应危险废物处置资质的单位进行规范处置。

由上述描述可看出，本项目核医学工作场所给药前、后患者不交叉，给药后患者与工作人员通道不交叉，患者离开通道不经过门诊大厅、收费处等人群稠密处，放射性核素诊断工作场所物流、人流通道设计合理。

场所人流、物流路线示意图见附图 13。

5、放射性核素特性

(1) ^{18}F

本项目涉及核素 ^{18}F 为发生正电子的核素。本项正电子放射性核素的物理特性如表 9-2 所示。

表9-2 正电子放射性核素的特性

放射性核素	衰变类型	半衰期	最大电子能量 (MeV)	最大射程 (mm)	平均射程 (mm)
^{18}F	β^+ 、EC	1.83h	0.64	2.4	0.22

湮灭光子能量为 0.511MeV， ^{18}F γ 射线照射量常数为 0.58 R·m²/h·Ci。

(2) ^{89}Sr

^{89}Sr 的半衰期是 50.5 天，衰变方式为 β 衰变 ($\beta\%=100$)，最大辐射能量为 1.488MeV。

^{89}Sr 的衰变纲图见图 9-9。

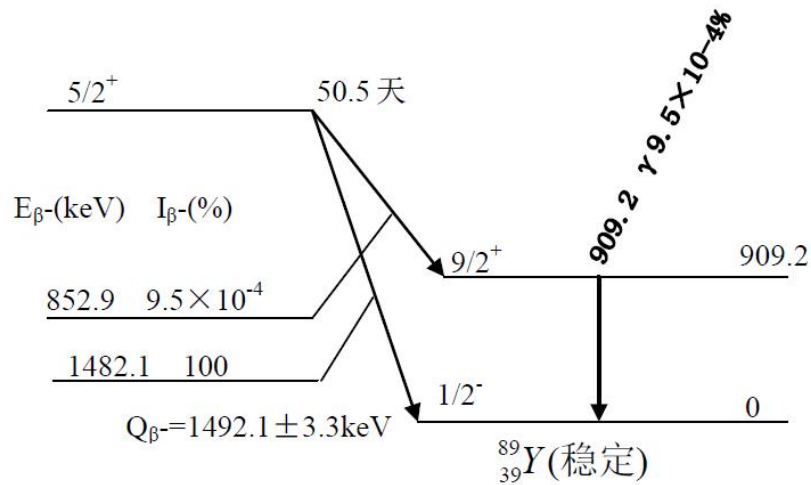


图 9-9 ^{89}Sr 的衰变纲图

9.3 污染因素

9.3.1 建设阶段

本项目建设阶段的污染源项主要是房间辐射防护建设等施工过程中产生的施工扬尘、噪声、废水(施工废水和施工人员产生的生活污水)、固体废物(建筑垃圾和施工人员产生的生活垃圾)等。

9.3.2 正常工况

本项目核医学工作场所在正常工作情况下产生的放射性危害因素分析如下：

① γ 射线。核素 ^{18}F 衰变过程中发射（产生）正电子，正电子与原子核周围的轨道电子（负电子）发生结合，同时释放两个能量相等方向相反的 γ 光子（0.511MeV），即 γ 射线。 γ 射线穿透能力较强，可能会对周围环境会造成一定的辐射影响。

② β 射线。 ^{18}F 、 ^{89}Sr 在衰变过程中释放出 β 射线， β 射线在空气及人体组织中射程均较短，较容易防护，不会对环境产生辐射污染。

③X 射线：PET-CT 运行时会产生 X 射线，X 射线辐射污染途径主要包括有用线束辐射、泄漏辐射和散射辐射。上述 X 射线随着射线装置的开关而产生和消失。

④表面污染。由于工作人员操作不熟练、误操作等原因造成核素洒漏，对工作台、地面造成表面污染。

⑤放射性废水。本项目场所放射性废水产生环节主要为患者注射 ^{18}F 放射性药物后，所产生的排泄物（包括呕吐物）以及冲洗水，内含有放射性核素，具有放射性；另外，工作人员冲淋、日常场所清洁或事故情况下清洗均可产生放射性废水。

⑥放射性废气。液体放射性药物在进行操作时可能挥发少量放射性废气。场所注射室内设置了手套箱，放射性药物的质控过程中可能存在洒出污染危险，通常都在负压手套箱内操作，避免食入、吸入等内照射影响，手套箱及场所设置独立的通风系统。

⑦放射性固体废物。主要为放射性药物操作过程中污染的注射器、针头、手套、药棉、纱布、吸水纸等。衰变池底部的沉渣，定期更换的废活性炭。特殊情况下残留放射性核素放置于手套箱铅罐内，特殊情况下剩余核素、残留核素及铅罐一起由供应厂家回收。PET-CT 校准源 ^{22}Na 经一定的使用年限后，因其自然衰变使其活度逐渐下降。当活度过低而不能满足使用时，放射源将被替换出来成为废放射源。

综上所述，项目的污染因素主要是 γ 射线、 β 射线、X射线、表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固体废物对环境的影响。

9.3.3 事故工况

（1）在核素转移和注射过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的放射性物质泄漏或倾洒，对工作台面、地面造成的放射性表面污染。

（2）由于管理不善，放射性药物失窃，造成人员受照事故。

（3）患者服药后未经允许离开工作场所，可能对接近患者的人员造成过量照射。

（4）由于管理不善，使放射性废水、放射性固废未经足够时间的衰变排放，对环境和人体造成一定的危害。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全与防护

10.1.1 项目布局及屏蔽设计

(1) 场所布局

根据医院提供的设计资料，本项目核医学工作场所包括卫生通过间、注射室、固废间、储源间、2 间注射后候诊室（含患者卫生间）、洁具间、PET-CT 机房、留观室（兼抢救室）、控制室、问诊室、医生办公室、注射前卫生间、注射前候诊区、登记台等。

本项目核医学工作场所设置了给药前患者候诊区、放射性药物贮存室（储源间）、分装给药室（注射室）、给药后患者候诊室（2 间注射后候诊室）、质控室（注射室）、控制室、机房、给药后患者卫生间和放射性废物储藏室（固废间）。同时还设置了清洁用品储存场所（洁具间）、更衣室、卫生间、护士站（登记台）、去污淋浴间（卫生通过间内）、抢救室（兼顾留观室）等辅助用房。场所内房间功能设置满足 GBZ120-2020 中 5.1.3 要求。

由上述分析可看出，本场所控制区设计集中，注射室、固废间、储源间等高活室集中在场所控制区北部，场所患者及工作人员设置独立的通道，减少用药后患者之间交叉，场所物流、人流通道设计合理，给药前、后患者不交叉，本场所给药后患者与工作人员通道不交叉，医院在该场所控制区入口及出口拟设置门锁权限控制、单向门等安全措施，病人进入控制区后按照诊断场所标示路线在场所内就诊，不得随意出入，避免工作人员和公众受到不必要照射，控制区出入口拟设立卫生通过间（卫生通过间、去污间），为工作人员提供更换衣物、用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内设置给药后患者专用卫生间，该场所布局合理。

核医学工作场所平面布置图见附图 12。

(2) 工作场所实体屏蔽

医院对核医学工作场所主要房间防护屏蔽进行了设计，主要对PET-CT机房、注射后候诊室、注射室、固废间、储源间、留观室等控制区进行了防护设计。该项目核医学工作场所拟采用实心砖、混凝土、硫酸钡砂、铅板和铅玻璃作为主要屏蔽材料。四周墙体采用混凝土或实心砖+硫酸钡砂，顶棚采用混凝土+铅板，地板采用混凝土；防护门采用内衬铅板；

观察窗采用铅玻璃观察窗，注射窗采用铅玻璃注射窗。本项目核医学工作场所主要房间屏蔽设计参数见表10-1。工作场所主要功能房间平面布置见图10-1。

表10-1 核医学工作场所主要房间防护设施一览表

名称	面积 (m ²)	四周墙体 防护	室顶防护	地板防护	层高 (m)	防护门 铅当量	观察窗 /注射 台铅当 量
卫生通过间	3.58	西墙 200mm 混凝土, 其他 300mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	8mmPb	/
注射室	11.2	西墙北段、北墙 200mm 混凝土, 其他 300mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	东南侧 15mmPb, 其他 8mmPb	注射窗 50mmPb
固废间	2.0	北墙 300mm 混凝土, 其他 200mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	8mmPb	/
储源间	2.0	北墙、东墙 300mm 混凝土, 其他 200mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	8mmPb	
注射后候诊室 1 (含卫生间)	11.2	北墙、东墙 300mm 混凝土, 其他 200mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	8mmPb	/
注射后候诊室 2 (含卫生间)	11.2	东墙 300mm 混凝土, 其他 200mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	8mmPb	/
PET-CT 机房	45.12	四周墙体 300mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	患者 8mmPb, 医护 15mmPb	观察窗 15mmPb
留观室 (兼抢救室)	8.28	四周墙体 300mm 混凝土	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	15mmPb	/

洁具间	6.0×2.9	北墙、西墙 300mm 混凝土， 东墙 200mm 混 凝土，南墙 200mm 实心砖	120mm 混 凝土 +100mm 水 泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	/	/
患者走廊	/	与场所内房间 相邻墙体厚度 同相邻房间墙 体，其他为 300mm 混凝土	120mm 混 凝土 +100mm 水 泥砂浆 +2.5mmPb	220mm 混凝土	4.5 m	入口 15mmP b，出口 10mmP b	/
衰变池间	/	西墙、南墙 300mm 混凝土， 其他 370mm 实 心砖+20mm 硫 酸钡砂	120mm 混 凝土 +100mm 水 泥砂浆 +2.5mmPb	120mm 混凝土 +200mm 混凝土基 础	4.75	12mmP b	/

注：根据建筑设计单位提供资料混凝土密度大于2.35t/m³；硫酸钡砂密度大于3.0t/m³；水泥砂浆密度大于1.8t/m³；实心砖的密度大于1.65t/m³。一层层高4.5m，地下一层层高4.75m，地下二层层高3.65m。

本项目PET-CT机房有用面积为45.12m²，最小单边长度为6.5m，参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附表C.7，对于140kVCT机房，墙体300mm混凝土折合3.5mmPb当量，室顶120mm混凝土+100mm水泥砂浆+2.5mmPb折合4.8mmPb当量，地板220mm混凝土折合2.5mmPb当量，防护门分别为8mmPb、15mmPb，观察窗为15mmPb，故本项目加速器机房能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表2：“CT机房机房内最小有效使用面积30m²，最小单边长度4.5m”、表3“CT机房屏蔽厚度2.5mmPb当量”的要求。

（3）场所分级

a、根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 中对非密封放射性物质工作场所分级原则及计算方法。日等效最大操作量计算方法：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。

本项目放射性核素日等效最大操作量计算结果见表 10-2。

表 10-2 放射性核素日等效最大操作量

场所	名称	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）	工作场所
核医学工作场所	¹⁸ F	3.7×10 ⁹	0.01	10	3.7×10 ⁶	乙级 (2×10 ⁷ Bq ~ 4×10 ⁹ Bq)
	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	0.1	1	2.96×10 ⁷	

	合计	3.33×10 ⁷	
--	----	----------------------	--

据上表可知，本项核医学工作场所日等效最大操作量为 3.33×10⁷Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所（乙级：2×10⁷Bq ~ 4×10⁹Bq）。

（4）场所分区

根据《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款规定，应把辐射工作场所分为控制区和监督区以便于辐射防护管理和职业照射控制。根据该规定要求，本项目将工作场所各房间划分为“控制区”和“监督区”两区管理。

控制区：

卫生通过间、去污间、储源间、固废间、注射室、洁具间、2 间注射后候诊室（含卫生间）、留观室（含卫生间）、PET-CT 机房。

另外衰变池间也为控制区。

控制区内防护及管理措施如下：a、非有关职业人员严禁入内，不允许服药的患者随便出入，除特别需要外不允许亲友陪护；b、在控制区进出口及其他适当位置处设置电离辐射警告标志，并应给出相应的辐射水平和污染水平的指示。控制区地面或墙面设置指示控制区的标牌；c、控制区出入口配备职业工作人员个人防护用品、监测仪器、个人衣物贮存柜、被污染衣物贮存柜、表面污染仪；d、工作场所严格按照 GB18871-2002 附录 B 中“表 B11 表面放射性物质污染控制水平”的有关规定执行；e、及时清理放射性固废。

监督区：

工作场所的候诊大厅、登记处、问诊室、医生办公室、注射前卫生间、阅片室、控制室等。

监督区防护及管理措施如下：a、其他无关公众人员严禁入内；b、无药候诊区域控制区分割处设置有防护门，将控制区域监督区分开；c、在监督区入口处设立表明监督区的标牌。

本项目核医学工作场所与非放射性工作科室有明显的分界。本项目核医学工作场所分区管理情况详见附图 14。

（6）其他防护措施

(6) 放射防护措施

1) 工作场所表面污染防治: 医院核医学工作场所各房间地板与墙壁接缝进行无缝隙处理, 地面铺设塑胶地板, 工作台、防护门、注射窗等设置表面易清洗的不锈钢表面, 易于清洗、去污。

2) 手套箱、注射窗、观察窗: 核医学工作场所注射室拟设 1 个手套箱, 用于使用核素的活度检测。手套箱设有铅玻璃视窗, 配备药物转运铅罐的升降装置, 台面开设活度计井孔, 并设置活度计监测井防护铅套。手套箱防护效果为 50mmPb 当量。手套箱配有机械排风装置, 风速不低于 0.5m/s。在注射室东墙南段拟设 1 个一体化注射窗口, 供放射工作人员对病人注射放射性药物, 注射窗防护当量为 50mmPb。PET-CT 机房及控制室之间设各观察窗 1 个, 防护当量为 15mmPb。

3) 屏蔽容器、铅屏风: 拟购置 2 个注射器转运防护盒 (10mmPb), 转运容器表面拟张贴电离辐射标志。拟新建的 2 间 PET 注射后候诊室, PET 注射后候诊室为单人间。

4) 检测设备: 医院拟在核医学科配备 X-γ射线辐射检测仪 1 台, 定期对场所周围进行辐射水平监测, 拟在核医学工作场所新增表面污染监测仪 1 台, 用于本项目场所及人员表面污染监测, 由控制区离开的人员和物品均拟进行表面污染监测, 如表面污染水平超出控制标准, 应采取相应的去污措施, 拟为进入工作场所高活区的工作人员配备个人剂量报警仪 5 个。

5) 运输与贮存: 核素运输过程放置于供货方提供的专门屏蔽容器铅罐、铅箱内, 于用药当天送达储源间, 储源间拟设置防盗门且设置“双人双锁”、红外监控设施, 医院拟定期对储源间进行辐射水平监测, 在贮存期间禁止无关人员进入, 对放射性药物登记建档, 记录用量平衡记录等台账, 对各设施定期巡检, 做好“三防”措施。

6) 门禁系统: 在核医学工作场所设门禁系统。分别设在受检通道患者入口门和患者出口门、卫生通过间入口、注射室与患者走廊之间防护门、留观室与阅片室之间防护门等处, 病人进入控制区后按照场所标示路线在场所内就诊, 不得随意出入。

7) 个人防护用品: 医院拟为工作人员配备防护用品, 包括铅衣 3 套, 铅眼镜 3 套, 均为 0.5mm 铅当量, 拟在场所配置放射性污染防护服, 医院拟为每位工作人员配备个人剂

量计（人手 1 支，由合作的个人剂量检测机构配发，每季度检测 1 次）。

8) 应急及去污用品：在核医学工作场所拟设置应急及去污用品，主要包括一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子等。

9) 电离辐射警告标志、监控及对讲装置：项目场所拟在控制区入口设置电离辐射警示标志，PET-CT 机房入口拟设置电离辐射警示标志、工作状态指示灯，工作状态指示灯与防护门联动，医院拟在地面、墙面醒目位置设置受检者导向标志指导受检者在场所内就诊。本项目拟在注射后候诊室、留观室内设置监控装置及对讲装置，拟在 PET-CT 机房设置观察窗及对讲装置。

10) 人员操作：为缩短工作人员核素操作时间，医院拟在患者进入场所前为患者留置注射器留置针，加强工作人员培训，在操作放射性药物时应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

10.2 三废的治理

本项目核医学工作场所均拟设置单独的通风系统，设置独立的排气管道，以保持各核医学工作场所通风良好，各场所通风设计及气态废物处理详情如下：

（1）放射性废气

本项目放射性废气产生环节主要为放射性药物的活度检测、取送药、注射、留观等工序。

本项目设置放射性废气收集及处理系统，医院拟于注射室设置手套箱 1 个，项目所用核素的活度测定均在手套箱内进行，手套箱为负压工况操作，手套箱风速大于 0.5m/s，手套箱通风风量为 500m³/h，可避免职业人员吸入放射性废气造成内照射影响。项目拟在手套箱顶壁设置 1 个活性炭过滤装置，手套箱废气经专用排风管道在吊顶上方沿走廊至场所患者出口处，汇入场所放射性废气主管道，汇入主管道前，手套箱专用废气收集管道设置防止气体汇流装置，汇入主管道后经吊顶上方活性炭吸附后，引至场所 PET-CT 机房西南侧风井，后向上引至楼顶上方，高于康复中心楼楼顶 3m 排放。

本项目核医学工作场所的控制区均采用微负压通风，由场所设计资料知，监督区均采用正压通风，控制区为负压通风，使气流由清洁区向控制区流动，气流总体根据非放射性区气压>监督区气压>控制区气压进行设计，使气体由非放射性区域流向监督区，再流向控制区。排风管道设反风阀，防止排风反流。根据设计资料，医院拟于场所控制区内设置独立的通风过滤系统，储源间、固废间、注射室、注药后候诊室（含卫生间）、PET-CT 机房、留观室（及卫生间）、洁具间、受检者通道采用 1 套独立的排风系统，放射性排风按换气次数 5 次计算，新风按换气次数 3 次计算，排风风量约为 3200m³/h，对于取送药、注射、候诊等各工序产生的放射性废气该区域排风通过专用通风管道汇集至场所患者出口处吊顶上方，经吊顶上方活性炭吸附装置吸附后，引至场所 PET-CT 机房西南侧风井，后向上引至楼顶上方，高于康复中心楼楼顶 3m 排放，项目放射性废气排气口最终排放高度约为 57.3m。

活性炭吸附装置根据场所排风风量确定，本项目拟在场所出口处吊顶上方设置 1 套活性炭吸附装置，活性炭吸附箱尺寸为 1693mm（长）*942mm（宽）*942mm（高），内设置 16 组尺寸为 $\phi 145\text{mm} \times 330\text{mm}$ 的浸渍椰壳活性，活性炭吸附设置在风机段前，处理流程为：滤网过滤段→活性炭吸附段→风机段。活性炭吸附装置拟设置压差计，当压差不能达到吸附要求，处理系统会提示更换活性炭，提示显示装置拟设置在场所护士站，类比其他核医学工作场所，活性炭过滤装置更换周期约为半年更换一次。

综上，本项目核医学放射性废气处理措施满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中关于“①保持工作场所负压和各区之间的压差，使得工作场所流由清洁区流向监督区再流向控制区；②应在手套箱设计独立排风系统，在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置，经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭过滤装置处理后排放；③通风系统排气口应高于建筑物屋顶，尽可能远离附近高层建筑”等相关要求。

核医学工作场所通风示意图见附图 15。

（2）放射性废水

医院拟为核医学工作场所设置放射性废水衰变系统，场所专用放射性废水衰变系统内处理。核医学工作场所放射性废水排放示意图见附图 16。

项目核医学工作场所设 3 个 ^{18}F 患者注射后专用卫生间（2 间注射后候诊室、1 间留观室），另外，在医护人员去污间等区域设置地漏及洗手池，洁具间设置拖布池及地漏，以上区域产生废水通过专用收集管道收集至核医学工作场所专用放射性废水衰变系统，项目拟设置的放射性废水衰变间位于项目 PET-CT 机房下方，场所产生的放射性废水可通过专用管道自流排入废水衰变间内的放射性废水衰变系统内进行衰变处理。拟建废水衰变池现状为杂物间，医院衰变池间设置在医院地下一层地下停车场南端，其南侧为地下土壤层，西侧为预留设备间，北侧为杂物区、地下车库通道，东侧为楼梯，周围少有人经过，医院拟设置门锁及电离辐射警示标志，衰变池间四周少有人经过，选址合理。

医院拟在衰变池间内放置放射性废水衰变系统 1 套，放射性废水衰变系统由 1 个尺寸为 $0.75\text{m} \times 1\text{m} \times 2.1\text{m}$ 的不锈钢材质沉淀池、1 个尺寸为 $0.75\text{m} \times 1\text{m} \times 2.1\text{m}$ 的不锈钢材质过滤池、3 个尺寸为 $1.5\text{m} \times 1.1\text{m} \times 2.1\text{m}$ 的不锈钢材质衰变池组成。单个衰变池有效容积 3.0m^3 ，总容积 9m^3 ，为槽式放射性废水衰变池，采用三格并联衰变方式。

根据衰变池设计资料，衰变池池体采用不锈钢材质，池体坚固防渗耐酸碱腐蚀，衰变池周围设置了电离辐射标志与中文警示说明，衰变池设置有排气管，用以排放放射性废液储存期间产生的气体。放射性废水的排放管道采用 DN100 不锈钢管体或铸铁管，管道四周采用 20mm 铅当量的铅进行防护，防止泄漏。排放管道走线避开人群密集区域，尽量减小对公众的辐射影响。

3 格衰变池并联，依次使用，衰变池内均设置液位计。本项目放射性废水设施 PLC 控制系统，控制端设置在场所护士站。运行时，污水首先进入 1#号衰变池，当 1#号池注满后，液位仪识别 1#池已灌满，向控制系统发出信号关闭电磁阀停止 1#池进水，同时开启 2#电磁阀，2#池开始进水。当 2#衰变池将要注满时，系统关闭电磁阀停止 2#池进水，同时开启 3#电磁阀，3#池开始进水。当 3#衰变池将要注满时，系统关闭电磁阀停止 3#池进水，当 3#衰变池将要注满时（设定水位标高的 90%），电脑指令 1#衰变池中的排污泵启动排水，废水衰变池中拟设置 2 台提升泵，工作人员通过控制系统控制废水排入医院一般污水处理系统，最终排入市政污水管网。如此循环反复。

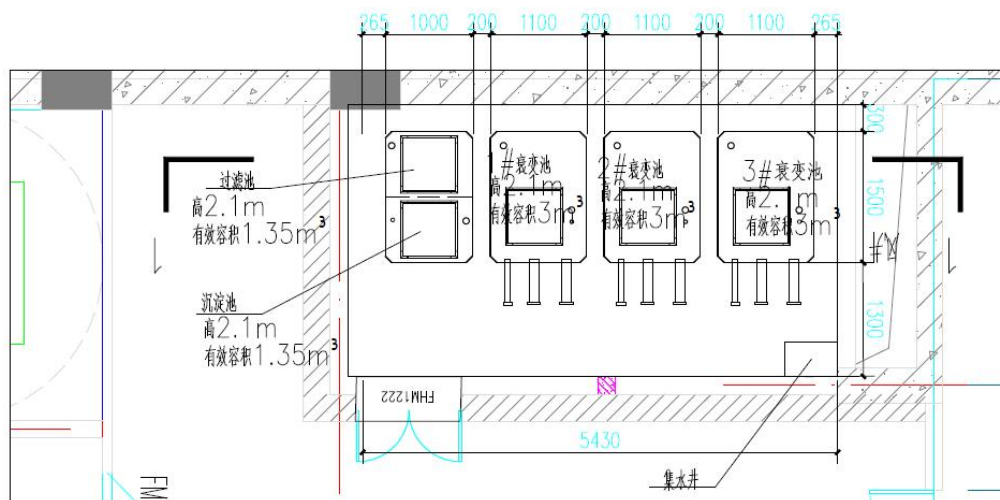
同时为保障该衰变池的长效可靠运行还需采取如下管理措施：

①衰变池区域应作为重点防渗区(渗透系数需 $<10^{-10}\text{cm/s}$)和控制区进行独立管理，建设单位专职部门应定期对放射性废水管道、阀门、池体及附属安全设施(如液位报警、电控系统)及防渗设施进行维护和检修，防止“跑、冒、滴、漏”情况出现同时防止污泥硬化淤积、堵塞进出水口、池体超压等情况发生，不得随意对下水管道进行改线或接入非放下水管道，不得设置 U 型下水管路，保持管道内径光滑并具有一定的下水坡度，防止出现放射性物质沉积。

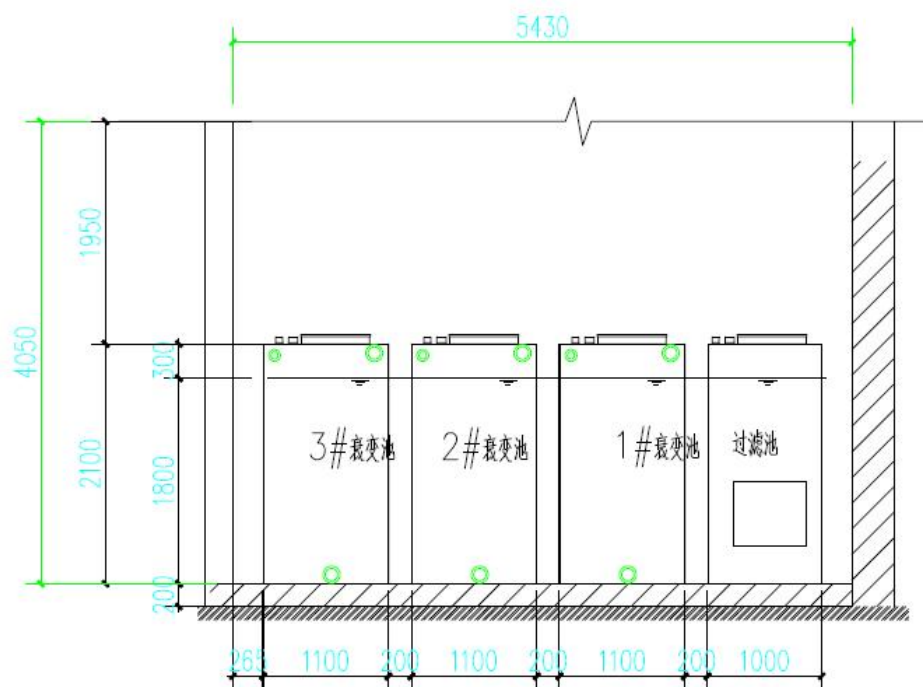
②放射性废水衰变池设有废水取样口和检修口，建设单位应对每次排放时间、排放量等做好详细记录，设置专门的废水排放台账台账应有专人管理，存档保存。

本项目衰变池为 3 格槽式设计，每格衰变池有效容积为 3m^3 ，偏保守考虑，放射性废水待放满第 1 格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余 2 格衰变池，再排放第 1 格衰变池废水，经下文计算，注满 2 格衰变池需要 57d，即第 1 格放射性废水拟排放前的衰变时长为 57d($>30\text{d}$)当废水衰变时长超过 30d 后，便打开阀门，排入流量大于 10 倍排水量医院内部污水管网进入医院污水处理站，每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，并作好记录。综上，本项目衰变池的容积满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中关于“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求。

本项目放射性废衰变系统见图 10-1。



(衰变池平面图)



(衰变池剖面图 A-A)

图 10-1 核医学工作场所放射性废水衰变系统衰变池平面、剖面及顶板设计图

本项目放射性废水收集管道进行了辐射防护，放射性废水管道四周防护为 20mmPb，衰变池池底和池壁采用坚固、防渗透和耐酸碱腐蚀的不锈钢，衰变池间南墙为 400mm 混凝土，西墙为 300mm 混凝土，北墙及东墙为 370mm 实心砖+20mm 硫酸钡砂，对周围环境影响较小。

(3) 放射性废物

本项目核医学工作场所拟共设 2 个 10mmPb 衰变箱（20L）、2 个 20mmPb 衰变箱（30L）用于收集放射性固体废物。并设置放射性废物桶 7 个，衰变箱（污物桶）配备情况详见表 8-3。衰变箱内拟放置专用塑料袋，在其外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并应做好相应的记录，衰变箱体上拟设电离辐射警告标志。

表 10-3 衰变箱（污物桶）配备情况一览表

固废含核素种类	类型	Pb 当量 (mm)	单个容积 (L)	数量 (个)	放置位置
^{18}F	污物桶	10	10	5	注射室、注射窗口、 ^{18}F 注射后候诊室、 ^{18}F 留观室各 1 个

	衰变箱	20	30	2	固废间 2 个
^{89}Sr	污物桶	10	10	2	注射室、注射窗口各 1 个
	衰变箱	10	20	2	固废间 2 个
废活性炭等	衰变箱	10	45	2	固废间 2 个

对于含 ^{18}F 固废，建设单位每天将各场所污物桶内放射性固废转移至固废间衰变箱内，封闭存放 30 天，2 个衰变箱交替使用；对于含 ^{89}Sr 固废，建设单位至少每周将场所污物桶内放射性固废转移至固废间衰变箱内，1 个衰变箱收集 1.5a 固废后，在固废间内封存存放 1.5a，2 个衰变箱交替使用。

特殊情况下衰变池产生的废渣，废气收集系统过滤装置定期更换产生的废活性炭，放置于衰变箱内衰变 30d 以上，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的豁免水平推荐值及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，经监测合格，可清洁解控作为医疗废物处理。

特殊情况下残留放射性核素放置于手套箱铅罐内，残留核素及铅罐一起由供应厂家回收。

本项目所用放射性废物衰变箱均按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关规定，于衰变箱上设置电离辐射警告、标志并在显著位置设置标签，标注废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等。此外，在衰变箱内放置有专用塑料袋直接收纳废物，对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，然后在装入专用塑料袋内。

衰变箱内的放射性废物经设定周期存放后可达到解控水平，经监测合格，可按清洁解控作为医疗废物处理。

本项目 PET-CT 校准源 ^{22}Na 经一定的使用年限后，因其自然衰变使其活度逐渐下降。当活度过低而不能满足使用时，放射源将被替换出来成为废放射源。项目 ^{22}Na 放射源更换由厂家负责，医院拟与放射源厂家签订放射源回收协议，废放射源更换后直接由厂家回收。

10.3 服务期满后的环境保护措施

对于服务期满并拟停止使用的非密封放射性物质工作场所，医院应按照《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2021）的规定实施相关场所的退役活动，并根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》的规定，及时编制相应的退役环境影响评价文件，确保退役场所满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的限值要求，方可无限制开放使用。本项目核医学科非密封放射性物质工作场所（包括运行期间建成的放射性废水衰变池）服务期满后，建设单位需根据相关要求实施场所退役。

退役工作的主要流程为：

- （1）开展污染源调查，并准备相关监测仪器、工具、防护用品和劳保用品。
- （2）退役场所现状监测，标注 β 表面污染水平大于退役目标值 $4\text{Bq}/\text{cm}^3$ 的区域。
- （3）场所内物品分类、处理、搬迁暂存；对有沾污物品和无沾污物品分类并标识。
- （4）对有沾污物品暂存，并将暂存场所封闭管理至少 10 个半衰期以上；对无沾污物品另存其他场所后封闭管理。
- （5）进行终态监测。

退役目标为拟退役核医学科场址达到清洁解控水平，实现场址无限制开放或使用。同时对实施核素、固体废物转移的工作人员进行剂量估算，所受剂量应低于执业人员年剂量管理约束值（ 5mSv ）。

表 11 环境影响分析

11.1 建设期环境影响分析

本项目建设阶段主要包括工作场所各房间墙壁及室顶的防护施工、各房间的防护装修以及设备的安装。

1、声环境影响分析

本项目施工期噪声主要为场所建设、房间装修及设备安装过程产生的一些突发性、冲击性、不连续性的敲打撞击噪声。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，此外本项目施工在大楼内进行，经墙体隔声及距离衰减后，对周边环境影响较小。

2、水环境影响分析

施工人员生活污水主要为洗涤废水和粪便污水，含 COD_{Cr}、NH₃-N、BOD₅、SS 等。本项目施工期生活污水利用医院现有卫生设施，污水经医院污水处理设施处理后，经污水管道排入市政污水管网。不直接外排环境。

3、固体废物

(1)生活垃圾，施工期间人员日常生活产生的生活垃圾统一放至医院生活垃圾存放点，由环卫部门定期清运。

(2)建筑垃圾，施工期间产生的建筑垃圾应进行分类，尽量回收其中尚可利用的部分建筑材料，对没有利用价值的废弃物运送到环卫部门指定的建筑垃圾堆埋场。

11.2 核医学工作场所运行阶段对环境的影响

11.2.1¹⁸F 使用过程中辐射环境影响分析

11.2.1.1 计算公式及参数

(1) 计算公式

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

式中：

H_p：屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时，（μSv/h）；

A:	单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝可（MBq）；
Γ:	距离源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，根据 GBZ120-2020 附表 H.1 核素 ^{18}F 为 0.143；
x:	屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；
r	参考点与放射源间的距离，单位为 m；
TVL	Γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），查 GBZ120-2020 附表 I.1

$$A=A_0\cdot e^{\frac{-0.693t}{T_{1/2}}}\tag{式 11-2}$$

式中：

A:	经 t 时间衰变后的活度，mCi；
A ₀ :	t=0 时的活度，mCi；
T _{1/2} :	放射性核素的半衰期；
t:	时间

(2) 关注点及放射源位置选取

关注点选取：计算场所屏蔽体外表面剂量当量达标性时，关注点位置选择在屏蔽墙、防护门、观察窗、室顶及地板等屏蔽体外 0.3m 处，计算人员有效剂量时参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关内容，关注点位置选择在屏蔽墙、防护门、观察窗等屏蔽体外 0.3m 处，顶棚上方关注点位置选择在楼上对应房间地面上方 1.0m 处，机房地面下方（楼下）距楼下地面 1.7m 处，如图 11-1 所示。

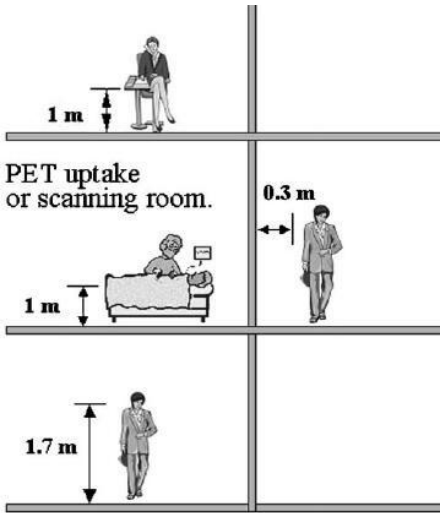


图 11-1 关注点选取示意图

放射源位置参考点：因本项目工作场所中放射源为药物或者注射后的患者。由于两者

的位置并非完全固定的，因此考虑到辐射防护最优化原则，取场所药物或者注射后的患者内常居留位置作为放射源参考位置。例如注射后候诊间（多名人员）及扫描室内放射源位置参考点选择该房间居中座椅上患者胸腹部位置，分装质控室内放射源位置参考点选择注射窗附近位置。

（3）计算参数

^{18}F ：由《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附表 H.1 查出 ^{18}F 的 Γ 照射量率常数为： $0.143 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，由附表 L.1 查出 ^{18}F 患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率为： $0.092 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，由附表 I.1 查出混凝土（密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）对 $^{18}\text{F}\gamma$ 射线的十分之一层厚度为 176mm，铅（密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ）对 $^{18}\text{F}\gamma$ 射线的十分之一层厚度为 16.6mm，砖（密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ）对 $^{18}\text{F}\gamma$ 射线的十分之一层厚度为 263mm。

11.2.1.2 ^{18}F 使用过程辐射影响分析

①储存、取药过程辐射剂量率预测

本项目拟购买使用分装好的药物， ^{18}F 置于 10mm 的注射套+40mm 的铅箱中储存于储源间，按每日最大使用量 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ （100mCi），对铅箱 1m 外 γ 辐射剂量率进行计算，得到 γ 辐射剂量率为 $0.515\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。因此经储源间、注射室四周墙壁、地板、室顶、防护门屏蔽措施防护后， ^{18}F 储存过程储源间外辐射剂量率小于 $0.515\mu\text{Sv}/\text{h}$ ， ^{18}F 取药过程注射室外辐射剂量率小于 $0.515\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，低于剂量率控制目标。

②活度测定过程辐射剂量率预测

本项目拟购买使用分装好的 ^{18}F ， ^{18}F 的活度测定工作在准备间手套箱内完成，防护当量为 50mmPb，按 ^{18}F 每日最大操作量 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ （100mCi）、每人最大注射量 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi）进行预测，根据式 11-1、式 11-2 估算注射室外 ^{18}F 产生的 γ 空气吸收剂量率：

表 11-1 ^{18}F 活度测定时注射室外 γ 辐射剂量率

核素活度	考察点	屏蔽厚度	考察点到源的最近距离（m）	γ 空气吸收剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	剂量率控制目标 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
注射室活度测定 $3.7\times 10^8\text{Bq}$	手套箱外 30cm 处	50mmPb	0.6	0.143	2.5
	东墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.0	1.02×10^{-3}	10

(10mCi)		+50mmPb			
	西墙北段外 30cm 处	200mm 混凝土 +50mmPb	3.2	3.67×10^{-4}	2.5
	西墙南段外 30cm 处	300mm 混凝土 +50mmPb	2.20	2.10×10^{-4}	10
	北墙外 30cm 处	200mm 混凝土 +50mmPb	1.7	1.30×10^{-3}	10
	南墙外 30cm 处	300mm 混凝土 +50mmPb	4.3	5.50×10^{-5}	10
	东南侧防护门外 30cm 处	15mmPb+50mmPb	3.3	5.90×10^{-4}	10
	与固废间之间防护 门外 30cm 处	8mmPb+50mmPb	2.5	2.71×10^{-3}	10
	与储源间之间防护 门外 30cm 处	8mmPb+50mmPb	1.7	5.87×10^{-3}	10
	注射窗外 30cm 处	50mmPb+50mmPb	2.3	9.46×10^{-6}	10
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆	3.8	1.92×10^{-4}	2.5
	室顶上方 100cm 处	+2.5mmPb+50mm Pb	4.5	1.37×10^{-4}	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.52	1.25×10^{-3}	2.5
	地板下方高 170cm 处	+50mmPb	4.05	1.76×10^{-4}	2.5

注：①硫酸钡砂密度为 3.0t/m^3 ，30mm 硫酸钡砂折合混凝土厚度为 38.3mm，95mm 硫酸钡砂合混凝土厚度为 121.3mm，楼板上方水泥砂浆密度为 1.8t/m^3 ，100mm 水泥垫层折合混凝土厚度为 76.6mm。

②四周墙外考察点到源的最近距离表中如有多个路径时，保守取最短距离，距离由 CAD 设计图纸中量取；

③项目所在楼层层高为 4.5m，源按高 1m 计，则源距室顶外 30cm 处距离为 3.8m，距离下方 30cm 处的距离为 1.52m。

由上表可知，活度检测过程中注射室外 ^{18}F 产生的辐射剂量率均低于相应的剂量率控制目标。

本项目一注射一转运，取药时注射器外套有 10mmPb 当量的防护套+10mmPb 当量的

注射器提盒取药过程按每次最大使用量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 进行预测, 根据式 9-1, 注射室外 ^{18}F 产生的辐射剂量率如下表所示:

表 11-2 ^{18}F 取药时注射室外辐射剂量率

房间及源强 活度	考察点	屏蔽措施	考察点到 源的最近 距离 (m)	考察点 γ 辐 射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控 制目标 ($\mu\text{Sv/h}$)
取药过程注 射室 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	东墙外 30cm 处	300mm 混凝土 +20mmPb	1.2	0.045	10
	西墙北段外 30cm 处	200mm 混凝土 +20mmPb	2.8	0.031	2.5
	西墙南段外 30cm 处	300mm 混凝土 +20mmPb	1.4	0.033	10
	北墙外 30cm 处	200mm 混凝土 +20mmPb	1.7	0.083	10
	南墙外 30cm 处	300mm 混凝土 +20mmPb	2.6	9.64×10^{-3}	10
	东南侧防护门外 30cm 处	15mmPb+20mmPb	2.0	0.103	10
	与固废间之间防 护门外 30cm 处	8mmPb+20mmPb	2.2	0.225	10
	与储源间之间防 护门外 30cm 处	8mmPb+20mmPb	1.7	0.377	10
	注射窗外 30cm 处	50mmPb+20mmPb	1.2	2.23×10^{-3}	10
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb+20mmPb	3.8	0.012	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	8.80×10^{-3}	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土 +20mmPb	1.52	0.080	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.011	2.5

由上表可知, 取药过程中注射室外 ^{18}F 产生的辐射剂量率均低于相应的剂量率控制目标。

③注射时 ^{18}F 产生的辐射剂量率

分装后的药物送到在每位患者注射前转运至注射窗前, 注射过程剂量率最大时为打开防护提盒进行取药及开始注射时。根据式 11-1, 注射过程中注射室外 ^{18}F 产生的辐射剂量

率如下表所示：

表 11-3 注射过程注射室外 ^{18}F 产生的辐射剂量率

房间及源强活度	考察点	屏蔽措施	考察点到源的最近距离 (m)	考察点 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制目标 ($\mu\text{Sv/h}$)
注射过程 注射室 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)	东墙外 30cm 处	300mm 混凝土	0.9	1.290	10
	西墙北段外 30cm 处	200mm 混凝土	3.9	0.254	2.5
	西墙南段外 30cm 处	300mm 混凝土	2.0	0.261	10
	北墙外 30cm 处	200mm 混凝土	3.4	0.334	10
	南墙外 30cm 处	300mm 混凝土	2.6	0.155	10
	东南侧防护门外 30cm 处	15mmPb	1.8	2.039	10
	与固废间之间防护门外 30cm 处	8mmPb	4.1	1.038	10
	与储源间之间防护门外 30cm 处	8mmPb	3.4	1.509	10
	注射窗外 30cm 处	50mmPb	0.9	0.064	10
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆+2.5mmPb	3.8	0.198	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	0.141	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.52	1.288	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.181	2.5

由上表可知，注射时注射室外 30cm 处的辐射剂量率均小于剂量率评价目标控制值。

按 ^{18}F 每人最大注射量 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) 进行预测，取药过程中穿着 0.5mmPb 当量防护衣，戴 0.5mmPb 当量的防护手套，注射器外套有 10mmPb 当量的防护套+10mmPb 当量防护盒。注射过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量防护衣，通过 50mmPb 当量注射防护窗对患者进行注射。药物距离手部约 5cm，距离身体约为 50cm。

药物转移及注射过程中人员手部受照剂量率本次采用类比的方法进行分析，类比数据参考《日照市人民医院核医学工作场所、 ^{125}I 粒籽源植入、DSA 装置应用项目(二期)验收

监测报告》中的验收监测结果，根据该验收监测报告，日照市人民医院注射过程中未使用注射器屏蔽套，注射器无屏蔽能力，因此具有良好的类比性。

1) 监测单位：山东鼎嘉环境检测有限公司，检测单位已通过 CMA 计量认证，认证证书编号为 181512342017。

2) 监测时间及条件：2019 年 6 月 20 日；天气：多云，气温：25.5℃，相对湿度：43.3%。

3) 监测仪器：AT1123 型辐射检测仪，设备编号为 A-1804-02，测量范围：剂量率 50nSv/h~10Sv/h，能量范围 15keV~3MeV，检定单位华东国家计量测试中心，检定证书编号 2019H21-20-1779665002，在检定有效期内。

根据类比监测数据，操作人员在取药及注射时手部剂量率见表 11-4。

表 11-4 类比项目操作药物 ^{18}F 过程中人员手部受照剂量率监测结果 单位： $\mu\text{Gy/h}$

工作过程	考察点	监测结果	备注
取药	手部	212.9	¹⁸ F 用量为 10mCi
药物注射	手部	213.0	
注：上述注射过程中未使用注射器屏蔽套，注射器无屏蔽能力。			

本项目单名患者最大用量为 10mCi，根据用量等比例折算，通过类比及计算，本项目职业人员在进行核素 ^{18}F 操作过程中受照剂量率见表 11-5。

表 11-5 本项目使用过程药物周围 γ 辐射剂量率

核素活度	操作过程	考察部位	剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	活度测定	手部	212.9 $\mu\text{Gy/h}$
		身体	0.192 $\mu\text{Sv/h}$
$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	取药	手部	212.9 $\mu\text{Gy/h}$
		身体	12.32 $\mu\text{Sv/h}$
$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	注射	手部	213.0 $\mu\text{Gy/h}$
		身体	0.192 $\mu\text{Sv/h}$

④注射后候诊室外辐射剂量率

受检者注射 ^{18}F 后，要静卧 40 分钟，然后根据病人身高及检测部位的差异，扫描 20 分钟，根据医院提供资料，本项目设 2 间注射后候诊间（均为单人间，每间最多容纳 1 名

患者候诊），患者注射后出现特殊情况会进入抢救室（兼留观室）抢救，抢救患者体内核素活度按 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）计。根据式 11-1，得到注射后候诊室、抢救室外的辐射剂量率预测结果见下表：

表 11-6 注射后候诊室、抢救室外辐射剂量率

房间及源强活度	考察点	屏蔽措施	考察点到源的最近距离 (m)	考察点 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制目标 ($\mu\text{Sv/h}$)
受检者走廊 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10 mCi)	走廊东墙外	300mm 混凝土	1.35	0.369	2.5
	入口防护门外 30cm 处	15mmPb	2.0	1.062	2.5
	出口防护门外 30cm 处	10mmPb	2.3	1.607	2.5
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	3.8	0.127	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	0.091	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.52	0.829	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.117	2.5
注射后候诊室 1 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	东墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.95	0.177	2.5
	西墙外 30cm 处	200mm 混凝土	3.35	0.222	10
	北墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.7	0.207	2.5
	南墙外 30cm 处	200mm 混凝土	2.6	0.368	10
	防护门外 30cm 处	8mmPb	3.4	0.971	10
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	3.8	0.127	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	0.091	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.52	0.829	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.117	2.5
注射后候诊室 2	东墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.95	0.177	2.5

3.7×10 ⁸ Bq (10mCi)	西墙外 30cm 处	200mm 混凝土	3.35	0.222	10
	北墙外 30cm 处	200mm 混凝土	2.6	0.368	10
	南墙外 30cm 处	200mm 混凝土	1.6	0.971	10
	防护门外 30cm 处	8mmPb	3.4	0.971	10
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	3.8	0.127	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	0.091	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.52	0.829	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.117	2.5
抢救室（兼 留观室） 3.7×10 ⁸ Bq (10mCi)	东墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.1	0.555	10
	西墙外 30cm 处	300mm 混凝土	2.3	0.127	2.5
	北墙外 30cm 处	300mm 混凝土	4.5	0.033	10
	南墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.6	0.263	10
	东侧防护门外 30cm 处	15mmPb	1.4	2.168	10
	西侧防护门外 30cm 处	15mmPb	2.6	0.629	2.5
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥垫层 +2.5mmPb	3.8	0.127	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	0.091	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.52	0.829	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.117	2.5

由上表可知，注射后候诊室外 ¹⁸F 产生的辐射剂量率分别低于相应的剂量率控制目标。

⑤使用 ¹⁸F 扫描过程 PET-CT 机房外辐射剂量率

受检者注射 3.7×10⁸Bq (10mCi) ¹⁸F 药物后，静卧约 40 分钟后进入 PET-CT 机房进行检查，40 分钟后核素衰变为 7.77mCi。根据式 11-1，PET-CT 机房外辐射剂量率预测结果见下表：

表 11-7 ^{18}F 扫描过程机房外辐射剂量率

房间及源强 活度	考察点	屏蔽措施	考察点 到源的 最近距 离 (m)	考察点 γ 辐 射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制 目标 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT 机 房 $2.87\times 10^8\text{Bq}$ (7.77mCi)	四周墙外 30cm 处	300mm 混凝土	3.0	0.058	与留观室、 患者走廊之 间 2.5, 其他 10
	北侧防护门外 30cm 处	15mmPb 当量	4.0	0.206	2.5
	东侧防护门外 30cm 处	8mmPb 当量	4.5	0.430	10
	观察窗外 30cm 处	15mmPb 当量	4.0	0.206	2.5
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	3.8	0.099	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	0.070	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.52	0.643	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.091	2.5

由上表可知, PET-CT 机房外 ^{18}F 产生的辐射剂量率均低于相应的剂量率控制目标。

⑥留观室外辐射剂量率

受检者注射 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) ^{18}F 药物后, 经一段时间停留然后进入 PET-CT 机房扫描, 然后进入留观室停留观察, 无异常即可离开。进入留观室时一注射后约 1h, 患者体内核素衰变至 6.85mCi , 根据建设单位提供资料, 医院拟设置的留观室为单人间, 最多停留 1 名受检者, 则源强取 6.85mCi 。保守计不考虑人体组织屏蔽, 根据式 9-1, 留观室外辐射剂量率预测结果见下表:

表 11-8 留观室外辐射剂量率

房间及源强 活度	考察点	屏蔽措施	考察点 到源的 最近距 离 (m)	考察点 γ 辐 射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制 目标 ($\mu\text{Sv/h}$)
留观室 $2.53\times 10^8\text{Bq}$ (6.85mCi)	东墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.1	0.380	10
	西墙外 30cm 处	300mm 混凝土	2.3	0.087	2.5

	北墙外 30cm 处	300mm 混凝土	4.5	0.023	10
	南墙外 30cm 处	300mm 混凝土	1.6	0.180	10
	东侧防护门外 30cm 处	15mmPb	1.4	1.483	10
	西侧防护门外 30cm 处	15mmPb	2.6	0.430	2.5
	室顶上方 30cm 处	120mm 混凝土 +100mm 水泥砂浆 +2.5mmPb	3.8	0.087	2.5
	室顶上方 100cm 处		4.5	0.062	2.5
	地板下方 30cm 处	220mm 混凝土	1.5	0.567	2.5
	地板下方高 170cm 处		4.05	0.080	2.5

根据表 9-8，留观室外辐射水平平均低于相应的剂量率控制目标。

⑦衰变池周围辐射剂量率

本项目衰变池位于医院康复中心楼地下一层衰变池间内。场所 ^{18}F 日最大操作量为 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ ，患者在场所内停留时间较短， ^{18}F 进入废水的量不超过 10%。单日进入废水中的 ^{18}F 约为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ 。经计算，该部分废水经 48h 衰变后， ^{18}F 约为 7.08Bq ，废水中的 ^{18}F 含量已很低，故本次计算衰变间周围辐射剂量率时，按照 2 天废水中的放射性核素量进行计算，则 2 天衰变池内的核素含量约为：
 $5.55 \times 10^9 \times 10\% + 5.55 \times 10^9 \times 10\% \times e^{0.693 \times 24 / 1.83} \approx 5.55 \times 10^8 + 6.27 \times 10^4 = 5.551 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

根据式 11-1，衰变池间外辐射剂量率预测结果见下表：

表 11-9 衰变池间外辐射剂量率

房间及源强 活度	考察点	屏蔽措施	考察点 到源的 最近距 离 (m)	考察点 γ 辐 射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制 目标 ($\mu\text{Sv/h}$)
衰变池间 $5.551 \times 10^8 \text{Bq}$ (15mCi)	东墙外 30cm 处	370mm 实心砖 +20mm 硫酸钡砂	1.5	0.968	2.5
	西墙外 30cm 处	300mm 混凝土	2.55	0.241	2.5
	北墙外 30cm 处	370mm 实心砖 +20mm 硫酸钡砂	2.6	0.322	2.5

	防护门外30cm处	12mmPb	3.0	1.669	2.5
	室顶上方30cm处	220mm 混凝土	4.05	0.272	10
	室顶上方100cm处		4.75	0.198	10
	地板下方30cm处	120mm 混凝土 +200mm 混凝土基础	1.62	0.460	2.5
	地板下方高170cm处		2.95	0.139	2.5

由上表可知，衰变池间外¹⁸F产生的辐射剂量率均低于相应的剂量率控制目标。

⑧PET-CTX 射线外照射

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

⑨校准用密封源的环境影响

本项目 PET/CT 设备拟使用 7 枚 ²²Na 校准源，一般情况下校准源储存在储源间的储源柜内，进行图片质量校准时从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。放射源处于贮存状态时，贮存容器和储源间的屏蔽设施能够完全屏蔽掉射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的扫描间内，校准时，校准源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。专门负责的校准工作人员穿着专门的铅衣在扫描间对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

11.2.2 ⁸⁹Sr 使用过程中辐射环境影响分析

核素 ⁸⁹Sr 释放的β射线的能量最大为 1.488MeV 在人体组织中的射程为 0.7cm，在空气

中也很容易被物质阻挡，不会对周围环境产生明显影响，基本可以忽略。韧致辐射主要在β射线照射玻璃器皿等屏蔽材料时产生，主要影响工作人员。

韧致辐射所致γ辐射剂量率估算如下：

$$X = 1.71 \times 10^{-4} AZ(E/r)^2 f \dots\dots\dots \text{(式 11-3)}$$

式中：X—距离韧致辐射源 r 米处的空气比释动能率，Sv/h；

A—放射源活度，Ci；

Z—电子屏蔽材料玻璃的有效原子序数，取 13；

E—β射线的最大能量，MeV；

r—参考点与韧致辐射源的距离，m。

f—转换系数 0.01Sv/R。

按患者最大用量 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi) 考虑， ^{89}Sr 发射β射线最大能量为 1.49MeV，根据式 11-3，得到 ^{89}Sr (4mCi) 导致韧致辐射产生的γ辐射剂量率。

表 11-10 不同距离上 ^{89}Sr 导致韧致辐射产生的γ辐射剂量率 (μSv/h)

活度 距离	0.05m	0.2m	0.5m	1m	2m
4mCi	79.0	4.94	0.79	0.20	0.05

从上表的预测值中可以看出，患者接受注射后体外 1m 处γ辐射剂量率为 0.20μSv/h，体外 2m 处γ辐射剂量率降至 0.05μSv/h，2m 处对周围环境已没有显著影响。

工作人员身体距药物按 0.5m 计，手部距药物按 0.05m 计，则工作人员身体部位剂量率为 0.79μSv/h，手部剂量率为 79.0μSv/h。操作时工作人员穿戴铅衣，实际操作中，工作人员受照剂量 $0.79\mu\text{Sv/h} \times 2^{-(0.5/13)} = 0.77\mu\text{Sv/h}$ 。

药物最多储存 2 人用量，2 人用量 $2.96 \times 10^8 \text{Bq}$ (8mCi)，药物储存在储源间铅罐中，铅对其韧致辐射半值层为 1.3cm，在铅罐 40mmPb 屏蔽条件下，铅罐外距药物 1m 处剂量率为 $0.20\mu\text{Sv/h} \times (8/4) \times 2^{-(40/13)} = 0.047\mu\text{Sv/h}$ ，再加上储源间的屏蔽，则储源间外 30cm 处剂量率应低于 0.047μSv/h，低于其到处剂量率控制目标。

11.2.3 年有效剂量估算

(1) 估算公式选取

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）—2000 年报告附录 A，X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H^* = H \times U \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 9-5})$$

式中：

H*——年有效剂量，mSv/a；

H——参考点处辐射剂量率，μSv/h；

U——使用因子，无量纲；

T——居留因子，无量纲；

t——年照射时间，h/a。

(2) 停留因子

停留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）选取，见下表。

表 11-11 停留因子的选取

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

(3) 工作负荷

①使用核素 ¹⁸F 过程中，辐射工作人员进行活度测定、取药和注射、摆位指导、扫描，其中活度测定过程约 5s/例、取药过程约 10s/例、注射过程约 20s/例、摆位指导约 0.5min/例、扫描过程约 20min/例，年最多开展 250 天、最大诊断人数 2500 人，则活度测定时间为 3.47h/a、取药时间为 6.94h/a、注射时间为 13.89h/a、摆位指导过程 20.83h/a、扫描过程

833.3h/a。

②⁸⁹Sr 就诊患者为 100 人/年，取药、注射全程按 1min 考虑，则接触时间为 1.67h。

(4) 工作人员年有效剂量

¹⁸F 摆位过程中工作人员在机房内指导受检者正确姿势，此过程摆位人员与受检者间隔大约 1m，穿 0.5mmPb 当量铅衣。¹⁸F 最大活度 7.77mCi，根据式 9-1，距患者 1m 处摆位人员γ辐射剂量率计算为 24.63μSv/h。工作人员操作核素时眼晶体与核素距离大于身体与核素距离，本次保守按照身体处剂量率进行计算。

核医学工作场所工作人员手部和身体可能接受的年剂量见表 11-12。

表 11-12 核医学工作场所工作人员手部和身体的年剂量

$H = 0.7 \times D_r \times T$								
操作项	每项操作时间	年操作次数	T (h/a)	Dr (手部, μSv/h)	Dr (身体, μSv/h)	H (手部, mSv/a)	H (身体, mSv/a)	H (眼晶体, mSv/a)
¹⁸ F								
活度测定	5s	2500	3.47	212.9	0.192	0.739	6.66×10 ⁻⁴	6.66×10 ⁻⁴
取药	10s	2500	6.94	212.9	12.32	1.478	0.086	0.086
注射	20s	2500	13.89	213.0	0.192	2.96	2.67×10 ⁻³	2.67×10 ⁻³
摆位	30S	2500	20.83	/	24.63	/	0.513	0.513
扫描	20min	2500	833.3	/	0.206	/	0.172	0.172
⁸⁹ Sr								
取药、注射	1min	100	1.67	79.0	0.79	0.137	1.37×10 ⁻³	1.37×10 ⁻³
合计						5.314	0.776	0.776

根据医院提供资料，取药、注射等均由护士进行操作，本项目设 2 名护士，则评价护士身体年有效剂量为 0.091mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员 20mSv 的年有效剂量限值，同时低于本评价提出的 5.0mSv 的年管理剂量约束值。手部剂量当量为 5.314mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员手部 500mSv/a 限值，也低于本评价提出的 125mSv 的年管理剂量约束限值。此部分工

眼晶体剂量当量为 0.091mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员眼晶体 150mSv/a 限值，也低于本评价提出的 20mSv 的年管理剂量约束限值。

摆位及操作等过程由技师完成，本项目设置 2 名技师，则技师的身体所受年有效剂量为 0.685mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员 20mSv 的年有效剂量限值，同时低于本评价提出的 5.0mSv 的年管理剂量约束值。此部分工眼晶体剂量当量为 0.685mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员眼晶体 150mSv/a 限值，也低于本评价提出的 20mSv 的年管理剂量约束限值。

(4) 场所周围公众成员年有效剂量

场所日最大接诊 ^{18}F 患者 10 人，每周最大开展 5 天，年按 50 周计，年最大接诊 2500 人，每人注射后候诊时间约为 40min 场所设置 2 间候诊室，每间最大容纳 1 名患者，则单间注射后候诊室年操作时间为 833.3h，根据上述计算，工作场所外公众活动区域辐射水平估算核医学工作场所外公众人员所受剂量，如下表：

表 11-13 核医学工作场所外公众人员辐射年有效剂量

场所	计算点处剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	停留人员	居留因子	时间(h/a)	最大年有效剂量(mSv/a)
注射后候诊室 1 北侧（高压氧舱）	0.207	公众人员	1/2	833.3	0.086
注射后候诊室 2 东侧（侯梯厅）	0.177	公众人员	1/8	833.3	0.018
PET-CT 机房南侧（院区道路）	0.058	公众人员	1/20	833.3	0.002
候诊室场所下方（地下停车场、设备机房、衰变池间）	0.117	公众人员	1/40	833.3	0.002
PET-CT 机房下方（衰变池间、停车场）	0.091	公众人员	1/40	833.3	0.002
留观室下方（衰变池间、停车场）	0.080	公众人员	1/40	416.7	8.33×10^{-4}
注射后候诊室上方（康复区）	0.091	公众人员	1/2	833.3	0.038
PET-CT 机房上方（康复区）	0.070	公众人员	1/2	833.3	0.057

衰变池四周（地下车库、备用设备间）	1.669	公众人员	1/40	2000	0.083
衰变池下方（送风机房）	0.139	公众人员	1/40	2000	0.007

注：场所上方采用高 1m 处剂量率，下方采用下层高 1.7m 处剂量率进行计算。

由上表可知，核医学工作场所外公众人员年辐射剂量最大为 0.086mSv/a，满足本评价采用的公众年剂量管理目标值分别不超过 0.1mSv/a 的管理要求。

（3）环境敏感目标公众成员年有效剂量

本项目核医学工作场所周围 50m 评价范围内除项目所在建筑外存在 4 处环境保护目标，经前述理论分析，简单考虑距离衰减，敏感目标处人员居留因子保守均取 1，环保目标处 γ 辐射剂量率及公众成员年有效剂量见表 11-11。

表 11-11 环境敏感目标处公众人员辐射年有效剂量

场所	方位及距离	计算点处剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	时间(h/a)	最大年有效剂量(mSv/a)
门诊住院楼	南侧 10m	0.013	1	2000	0.026
蓝天广场小区	西侧 15m	0.0082	1	2000	0.016
盛德松苑 203 号楼	西北侧 30m	0.0059	1	2000	0.012
北侧商业建筑(比目鱼商务酒店)	北侧 35m	0.0048	1	2000	9.6×10^{-3}

注：敏感目标处剂量率计算保守按照注射室、注射后候诊室、PET 机房、留观室均有源、并只考虑相应房间墙体，保守不考虑其他墙体屏蔽。

由上表可知，核医学工作场所环境敏感目标处公众人员年辐射剂量最大为 0.026mSv/a，满足本评价采用的公众年剂量管理目标值分别不超过 0.1mSv/a 的管理要求。

11.2.3 放射性废水环境影响分析

^{89}Sr 治疗患者注射后直接离开场所，不在场所内留观，故不会产生放射性废水，特殊情况下病人在注射后离开场所时在场所内发生呕吐或使用场所内厕所，因注射药物时间短，放射性核素代谢到胃部及尿液的量极少，进入废水中其活度远低于 GB18871 中 ^{89}Sr 豁免活度及豁免活度浓度，故放射性废水影响分析不再考虑特殊情况下产生的少量含 ^{89}Sr 废水。

场所产生的放射性废水环节主要为注射 ^{18}F 诊断的患者在候诊期间的呕吐物、排泄物、清洗废水等。场所设置卫生通间，用于漏洒事故时工作人员进行紧急冲淋，日常工作不产生冲淋废水，本项目核素诊断患者年最大 2500 人，病人在场所内停留时间约为 1-2h，参照《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019），对于门诊部病人，每病人每次最高用水量为 10~15L，检查病人用水量本次评价取 15L/人.次，废水产生量为 80%，则患者卫生间产生废水量为 $30\text{m}^3/\text{a}$ ，场所清洁用水量本次评价取 40L/天，废水产生量为 80%，则清洁废水产生量为 $8\text{m}^3/\text{a}$ ，则场所年产生放射性废水量最大为 $38\text{m}^3/\text{a}$ ，平均日产生量约为 $0.104\text{m}^3/\text{d}$ ，所有放射性废水通过专用管道进入衰变池，由衰变池停留后排入医院污水处理总站作进一步处理后外排。衰变池共 3 个分池，单个分池有效容积 3.0m^3 ，3 个分池并联，单个分池可容纳 28.8 天的废水量，则废水最大停留 57 天，大于 30 天，废水解控经污水泵提升排放至医院污水处理站，本项目使用核素 ^{18}F 半衰期均小于 24h，废水经 57 天衰变后直接排放可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）“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”的要求，对周围水环境影响较小。

11.2.4 放射性固废环境影响分析

本项目核医学工作场所产生的放射性废物有剩余放射性药物、被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、擦拭污染地面的物品和病人使用的一次性杯子等，以及废气收集系统过滤装置产生的废活性炭。分别采取不同的处理措施：

剩余及残留放射性药物由供源厂家回收。

被污染的注射器、针头、手套、导管、药棉、纱布、吸水纸、破碎杯皿、擦拭污染地面的物品和病人使用的一次性杯子等，经放射性废物衰变箱封存，待活度衰变降至解控水平以下后，作免管固体废物（医疗垃圾）处理。

本项目核医学工作场所拟共设 2 个 20mmPb 衰变箱（30L）、4 个 20mmPb 衰变箱（50L）用于收集放射性固体废物。

辐射工作人员定期将各功能房间放射性废物收集至污物间的衰变箱内衰变，放射性废物经设定周期存放后达到解控水平，经审管部门确认或批准后作为免管废物（医疗垃圾）

进行处理。

根据本项目开展方案， ^{18}F 患者、 ^{89}Sr 患者就诊人数分别为2500例/年、100例/年，则本项目诊断治疗过程中产生的放射性固废产生情况见下表。

表 11 -12 核医学工作场所放射性固废产生情况

核素名称	年就诊人数	固废产生系数	固废产生量
^{18}F	2500	诊断患者 0.05kg/人	187.5kg/a（约合 375L/a）
^{89}Sr	100		5kg/a（约合 10L/a）

①含 ^{18}F 核素固废

根据核医学科设计方案，含 ^{18}F 核素固废收集周期为 30 天，该期间各功能房间放射性固废收集至衰变间的衰变箱内后，放置于固废间内，封闭存放 30 天，且放射性固废放置于废物袋中，袋子上注明时间等信息，保障放射性废物的衰变时间。医院拟新购置 ^{18}F 专用衰变箱 2 个（屏蔽厚度为 20mmPb 当量，容积 30L），用于收集 ^{18}F 诊断产生的固体废物，轮流使用，每个衰变箱收集 30d 固废，30d 产生的放射性废物约为 10.3kg，约合 20.6L，单衰变箱的容积为 30L，故单个衰变箱的容积能满足 30d 放射性固体废物的产生量暂存需求。

药物常规操作产生的含 ^{18}F 放射性固体废物，封闭存放 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可解控作为医疗废物处理。医院作为医疗废物交由有相关处理资质的单位处理。以上放射性废物处理能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，对周围环境影响较小。

②含 ^{89}Sr 核素固废

根据核医学科设计方案， ^{89}Sr 核素半衰期较长为 50.5d，含 ^{89}Sr 核素核素固废收集周期为 1.5 年，该期间各功能房间放射性固废收集至衰变间的衰变箱内后，放置于衰变间内，封闭存放 1.5a，且放射性固废放置于废物袋中，袋子上注明时间等信息，保障放射性废物的衰变时间。医院拟新购置 ^{89}Sr 专用衰变箱 2 个（屏蔽厚度为 10mmPb 当量，容积 20L），用于收集 ^{89}Sr 治疗产生的固体废物，轮流使用，1 个衰变箱收集固废时，1 个用于衰变，每个衰变箱收集 1.5a 固废，1.5a 产生的放射性废物约为 7.5kg，约合 15L，单衰变箱的容积

为 20L，故单个衰变箱的容积能满足 1.5a 放射性固体废物的产生量暂存需求，则衰变箱衰变时间为 1.5a。药物常规操作产生的含 ^{89}Sr 放射性固体废物，封闭存放 1.5a，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可解控作为医疗废物处理。医院作为医疗废物交由有相关处理资质的单位处理。以上放射性废物处理能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，对周围环境影响较小

放射性废气处理系统风机与过滤装置联动控制，当达不到设定的处理效率时，可提示及时更换滤料，保证废气处理效率。医院拟定期检查过滤材料的有效性，并及时更换失效的过滤器，更换周期不超过厂家推荐的使用时间，一般更换时间不超过 1 年，更换下来的活性炭医院收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶内，衰变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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可清洁解控，医院拟于废气处理设备厂家签订协议，解控后交由设备厂家处理。

放射性废水处理系统衰变池内会沉淀一部分放射性核素，为不影响衰变池衰变处理效果，应定期清理衰变池内沉渣，建议放射性废水处理系统一年清理 2 次。本项目设置 1 个废渣衰变箱，沉渣在衰变箱内停留衰变，停留 30d 后，由工作人员清掏按照一般废物处理。

医院核医学工作场所放射性废物由专人负责收集、封存，衰变箱（桶）内拟放置专用塑料袋，在其外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并应做好相应的记录，衰变箱体上拟设电离辐射警告标志，衰变箱暂存于污物间内，应设有防盗门及监控系统，医院拟对放射废物进行检测，达到解控水平后的放射性废物，医院统一收集，与其他医疗废物一起交由有相关处理资质的单位进行处理。

11.2.5 放射性废气环境影响分析

本项目含 ^{89}Sr 、 ^{18}F 药物物理性质稳定。静脉注射给药属很简单操作。本项目药物活度测定和抽取操作也属于很简单操作。正常工作情况下，活度测定和注射操作不会产生气溶胶和蒸汽等，不会造成工作环境的空气污染。操作发生意外洒落情况时会有微量的放射性物质挥发。

本项目放射性核素高活室内设置专用铅防护手套箱 1 个，放射性药物的活度测定在手

套箱内进行，手套箱自带排风装置，风速不小于 0.5m/s，手套箱形成微负压，不向外扩散，手套箱排风经活性炭吸附后汇入核医学科主排风管道，经活性炭吸附后由专用管道引至楼顶排放，排风口高于楼顶 3m，高于周边建筑。医院拟于场所控制区内设置独立的通风过滤系统，用于工作场所内固废间、注射室、储源间、注射后候诊室、PET-CT 机房、留观室等房间的通风，控制区域均为负压通风，保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动，出口设置活性炭过滤装置，经活性炭吸附由场所通风管道向上引至康复中心楼顶后排放，排气筒高出楼顶 3m。

上述排风系统满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响。手套箱内吸风口及场所排风管道出风口处均设置活性炭过滤对放射性气溶胶进行吸附，初期过滤效率不低于 95%，经吸附后， ^{89}Sr 、 ^{18}F 外排浓度很小，吸附装置预留过滤材料更换口，通风系统设置风压计，当两次压差达到一定数值后，医院更换活性炭，确保过滤效率满足设计要求，经活性炭吸附后，项目外排放射性气溶胶极少，对环境影响较小。

11.2.6 表面污染分析

本项目工作人员在对带有 ^{89}Sr 、 ^{18}F 核素药物的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。为控制表面污染，需采取的措施如下：

- （1）对操作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识；
- （2）操作放射性物质在易去污的工作台面上进行，取药、活度检测等在通风橱内进行；
- （3）如有洒落等操作，人员用棉签将其擦拭处理，擦拭后产生的废棉签、手套按放射性固体废物收集至放射性废物桶内处理，放置衰变后按一般医疗废物处理；
- （4）工作人员进出工作场所需更衣，操作时穿防护服，带防护手套；本项目分装注射等控制区室内地板和墙壁之间的接缝无缝隙设计施工；设置易清洗、防污性能好的墙面、地面等；室内设置通风系统；配置清洗及去污设备。放射性操作之后对工作台面、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污。

在严格落实以上措施的情况下可有效避免表面污染带来的辐射影响。场所内表面污水平能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表面污控制水平要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 事故风险识别

①在取放射性药物及注射等过程中，由于职业人员违规操作、误操作，引起放射性药物倾洒，造成的放射性表面污染。

②由于管理不善，发生放射性药物失窃，导致公众受照和环境受到辐射污染。

③由于对患者管理不当，患者体内放射性活度尚未衰减到较低水平而到公共场所活动，造成公众受照。

④放射性废水未经足够的时间衰变进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

⑤放射性固体废物未经足够的时间衰变进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑥职业人员未按要求穿戴个人防护用品，造成超剂量照射。

11.3.2 事故风险防范措施

①医院须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，发生事故后，应及时用棉布或者吸水纸等擦拭，擦拭物收集放到放射性废物衰变箱中。

②医院须制定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。储源间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

③医院须加强对有药患者的管理，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指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。

④医院须加强放射性废水处理系统日常维护，严格控制放射性废水衰变时间，放射性废水经充分衰变满足 GB18871-2002 规定值后方可排放。

⑤医院须加强放射性废物的管理，做好登记记录，对于高活室、储源间等房间储存的放射性固废在其衰变箱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，经充分衰变达到解控水平后方可按照免管固废处置。

⑥医院须要求职业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，在进行配制和注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩，必要时佩戴防护眼镜，尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物距离。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射环境管理

(1) 管理机构

按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及生态环境主管部门的要求，医院已签订辐射安全工作责任书，法人代表为辐射安全工作第一责任人，建立了辐射安全与环境保护管理领导机构，设有专门的“辐射安全工作管理小组”，并配备了辐射安全管理人员，负责辐射安全与环境保护。

领导小组成员名单如下：

组 长：丁英杰

副组长：姜华伟

成 员：张艺琳、段立娟

领导小组主要职责是：

- (1) 全面负责医院辐射防护管理工作。
- (2) 根据国家相关法律法规政策的要求，制定医院的放射防护管理规章制度、工作计划，并组织实施。
- (3) 指导有关科室制定相应的规章制度，并督促落实。
- (4) 定期对辐射安全与防护工作进行督查，检查本院放射工作人员的技术操作情况，指导做好个人及患者的辐射防护，确保不发生辐射安全事故。

(2) 规章制度

目前医院开展的各项辐射活动均在国家允许的范围内，医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和各级政府环境保护主管部门的要求，为加强医院辐射安全与环境保护工作，保障工作人员健康，保护环境，根据实际，医院各科室组织制定了如下放射防护规章制度：《放射防护安全管理制度》、《放射安全管理措施》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《放射工作人员个人剂量监测制度》、《放射工作人员培训制度》、《医疗设备维修保养制度》、《设备运行保障方案》、《患者和受检者安全防护制度》、《放射科安全操作规程》、《放射科 X 诊

断质量保证措施》、《辐射监测计划》、《放射卫生档案管理制度》、《放射机房环境安全管理制度》、《放射安全应急预案》、《放射科质量与安全培训计划》、《放射诊疗安全防护管理制度》、《放射诊疗设备状态及防护检测制度》、《患者辐射防护管理制度》、《DSA 操作规程》、《自行检查和年度评估制度》、《核医学科放射性药品安全管理制度》、《核医学科放射性药品采购、核对、登记、保管、使用及注销制度》、《核医学科放射性污物处理制度》、《核医学科安全保卫制度》、《核医学科放射性安全防护措施》等。

医院将各项规章制度落实到平时工作中，落实了辐射工作安全责任，开展了辐射环境监测及个人剂量监测，建立了完善的辐射管理档案，并设有专人负责管理。医院从事辐射工作多年，目前尚未发生过辐射事故，表明已制定的辐射安全规章制度是有效的。

医院各项规章制度，可从操作人员岗责任，辐射防护和安全保卫，设备检修、放射设备的使用等方面做出明确要求和规定，保障从事辐射工作的人员和公众的健康与安全，同时保护环境，满足辐射管理要求。

（3）人员培训及健康管理

①人员培训

本项目拟配备 5 名工作人员，目前工作人员名单尚未确定，医院应在人员确定后组织本项目辐射工作人员按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第 18 号）及相关规定要求在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习，取得了核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单方可上岗。

根据国家和技术利用辐射安全与防护培训平台《辐射安全考核说明》：考核合格者可取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单。报告单全国有效，有效期 5 年。故取得了核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单的工作人员，应按照相关规定，按时进行再培训，保持核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单在有效内。

②健康管理

医院严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，已为所有在职放射工作人员配备个人剂量计，并定期对工作人员进行个人剂量监测（3 个月 1 次），建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。临时工作人员、实习人员应纳入

个人剂量监测范围。

放射工作人员进行放射工作作业时，应严格遵守实践的正当化、放射防护最优化和个人剂量限制三原则。充分利用时间防护、距离防护和屏蔽防护等防护条件，使个人受照剂量控制在最低水平。

医院按上述内容认真落实后，在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，其从事辐射活动的技术能力能够符合相应法律法规的要求。

12.2 辐射监测

12.2.1 辐射监测方案

医院已制定《辐射监测方案》，已配备 1 台 BG9511 型 X-γ辐射空气比释动能率仪，拟配备 1 台表面污染检测仪，定期或不定期地对工作场所和周围环境进行监测。如发现异常情况或怀疑有异常情况，及时对工作场所和环境进行监测。医院拟针对本项目补充完善现有《辐射监测方案》，具体参考如下：

表 12-1 医院拟制定监测计划一览表

场所名称	序号	项目	监测位置	监测频次	监测依据
核医学工作场所	1	辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月	HJ1188-2021
			工作场所周围环境	1 次/年	
			外照射周围剂量当量率检测首先应进行巡测，以发现可能出现的高辐射水平区域。在巡测的基础上对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测，外照射辐射水平巡测关注点包括：防护墙、顶棚、防护门、观察窗、操作位、管线洞口等具有代表性的检测点	定期监测	GBZ120-2020
			以工作场所为中心，半径 50~300 m 以内布点，测量点应覆盖控制区的每个区	1 次/年	HJ61--2021

			域（如储源间、高活室等）、监督区的每个区域（如注射前候诊区等）、衰变池上方、污物间内，同时覆盖非密封放射性物质利用场所周围环境及敏感点。	1 次/2 周	GB11930-2010
	2	表面污染水平	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	HJ1188-2021
				1 次/4 周	GB11930-2010
			从控制区离开的人员及物品	离开时	HJ1188-2021
	3	放射性固废	辐射剂量率、 α 表面污染及 β 表面污染水平	解控处理前	HJ1188-2021
				1~2 次/年	HJ61--2021
	4	放射性废水	应用核素，如应用核素难以分析，可用总放（总 α 、总 β ）替代	1~2 次/年	HJ61--2021
				排放前	GB11930-2010
	5	废气	应用核素，如应用核素难以分析，可用总放（总 α 、总 β ）替代	1~2 次/年	HJ61--2021
				1 次/4 周	GB11930-2010
	6	土壤	以工作场所为中心，半径 50~300 m 以内，应用核素，如应用核素难以分析，可用总放（总 α 、总 β ）替代	1 次/年	HJ61--2021
	7	工作场所退役监测	γ 辐射、土壤、废水、放射性固废参照 1-6.同时增加场所和设备的表面污染水平	退役时	HJ61--2021
医院辐射工作人员		工作人员个人剂量	放射工作人员应佩戴个人剂量计并委托有相关资质单位定期进行检测，定期检查和评估工作人员的个人剂量，监测周期不超过 90 天，建立个人剂量档案。对相关人员进行定期查体，建立个人健康档案	常规监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月	GBZ 128-2019
在正常使用中，应每日对门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置进行检查，对其余防护设施应定期检查。					

以上监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院按上述内容认真落实后，在严格执行相关法律法规、标准规范等文件，严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下，其从事辐射活动的技术能力能够符合相应法律法规的要求。

12.2.2 医院监测方案落实情况

经核实，医院现有辐射工作人员均配有个人剂量计，委托有资质单位每三个月检测一次，出具个人剂量检测报告，由医院提供的个人剂量检测报告可知，医院现有辐射工作人员年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定职业人员剂量限值，医院建立有个人剂量档案，检测数据填入个人剂量档案，档案一人一档，由专人保管，个人剂量档案应终生保存；医院已委托有资质单位对各辐射工作场所周围进行检测，出具年度检测报告，同时医院配备有 1 台 BG9511 型 X- γ 辐射空气比释动能率仪，定期对各辐射工作场所周围辐射水平进行自主监测，并做好记录，落实情况较好。

12.3 辐射事故应急

该院已根据《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）第四十条、国家环保总局《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）的有关规定，制定了《辐射事故应急预案》并为核医学工作场所制定了《核医学科高活注射室放射性药物污染应急处置方案》、《核医学科突发放射性事故应急预案》，成立了突发性核事故与辐射事故应急指挥部，组织、开展放射事件的应急处理救援工作，该预案主要规定了辐射事故应急处理机构的成员组成及职责、辐射事故应急救援应遵循的原则、辐射事故处理程序及辐射事故调查、报告和处理等内容，具体如下：

1. 组织机构

① 成立辐射安全事故应急处理小组

医院成立辐射安全事故应急处理小组：

2. 辐射事故应急处理的责任划分

①医院辐射安全领导小组组长负责辐射事故应急处理的组织及指挥工作。

②医院辐射安全领导小组组长负责辐射事故应急处理中人员、物资的调动调配工作，向院应急救援领导小组及生态环境部门、卫生行政部门、公安部门快速上报，最迟不得超过两小时。《辐射事故初始报告表》在 24 小时内填报。

③医院辐射防护管理领导小组副组长应全力协助安全第一责任人，在抓好辐射事故应急处理工作的同时，协助做好受伤害人员的家属安抚工作。

④现场处置组要认真做好事故现场的保护工作，协助上级主管部门调查事故、搜集证据，整理资料并做好记录。

⑤参加事故应急救援人员要自觉遵守纪律，服从命令，听从指挥，为完成救援任务尽职尽责，通过积极工作最大限度地控制事故危害，为尽快恢复工作创造条件。

⑥加强对发生事故现场的治安保卫工作，现场处置组要密切配合、做好事故现场的保卫工作，防止现场物资及财产被盗或丢失。

3.辐射事故应急救援应遵循的原则

①迅速报告原则；

②主动抢救原则；

③生命第一的原则；

④科学施救，控制危险源，防止事故扩大的原则；

⑤保护现场，收集证据的原则。

4.辐射安全事故分类

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院第 449 号令)中的辐射事故分级情况，结合我院辐射防护工作的具体情况，将辐射安全事故分为以下两类：

(1) 放射性药物丢失、被盗、撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

(2) 校准源丢失、被盗、失控；

(3) PET-CT 属于低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成辐射损伤。

经计算，放射性药物 ^{18}F 泄露对公众成员的照射所受最大剂量不会超过公众 5 个连续

年的年平均剂量限值（1mSv）。对照《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）中急性放射病发生参考剂量，不构成放射性疾病，根据《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）第四十条，本项目放射性核素泄露、丢失等事故持续周期内可造成公众人员超剂量照射而导致一般辐射事故。放射性药物漏撒单次事故状态下，职业人员手部最大受照剂量小于 GB18871 中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，不构成辐射事故。

根据《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)，V 类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射的为一般辐射事故。因此核学科 ^{22}Na 校准源(V 类)丢失、被盗、失控为一般辐射事故。

PET/CT 属于 III 类射线装置，其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。事故情况下，X 射线直接照射到人员身上，保守考虑，误入人员或病人在机房内被误照射，根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)表 E.2 典型成年受检者常见 CT 检查项目的辐射剂量和诊断参考水平可知，最大 $CTDI_{vol}$ 为 60mGy/次，则机房内误入/误照射人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 60mSv/次，超过公众外照射年剂量限值，事故等级为一般辐射事故。

5.应急处置程序

本单位一旦发生辐射事故，必须立即采取措施（如切断电源，迫使设备停止曝光）防止事故继续发生和蔓延而扩大危害范围，并在第一时间向辐射事故应急工作领导小组组长报告，同时启动应急指挥系统，具体程序如下：

①现场处置

1) 操作开关失灵

操作开关可能会失灵。当松开操作开关后，如果设备还在运行或者该灭的灯还亮着，应采取如下措施：

- a、射线装置立即关掉电源；
- b、如果有受检者在机房，应将受检者迅速从机房内移开；
- c、操作人员不得试图再次开机，应联系维修人员进行维修，在确保设备能够正常运行

和操作开关电路正常时才能重新开机。

d、如污染地面或台面，应先标志污染范围，以防扩散，分散人群，并以屏蔽遮盖，设置警示标识，标明放射性药物名称，污染日期，以等待衰变，10 个半衰期后再进行去污；

e、如果工作人员身上已经沾污放射性物质应立即就地脱去工作服，切忌随意走动或触摸物品，以免扩大污染范围，皮肤受到放射性污染时应立即用脱脂棉或吸水纸吸干，再用去污剂清除，最后用清水冲洗直至放射性降到本底水平。当确认或怀疑当事人发生过量摄入剂量时，应及时进行医学观察和医学处理。

②迅速报告

必须立即将发生事故的性质、时间、地点、科室名称、联系人、电话等报告给辐射事故应急工作领导小组组长，组长接到报告后立即通知现场处置组组长并做好准备。

③现场控制

应急处置组组长接到事故发生报告后，立即集合人员赶赴现场，首先采取措施保护工作人员和公众的生命安全，最大限度控制事态发展；用警示条划定紧急隔离区，禁止无关人员进入，保护好现场；迅速、正确判断事件性质，将事故情况报告应急指挥组。

④现场报告

根据现场情况，由本单位应急指挥组将事故发生时间、地点、造成事故射线装置、危害程度和范围及射线装置的名称等主要情况报告生态环境、卫生行政部门、公安部门等相关部门以及上级行政主管部门。

⑤查找事故原因

配合上级有关部门对现场进行勘查以及环保安全技术处理，检测等工作，查找事故发生的原因，进行调查处理。将事故处理结果及时报上级生态环境及卫生行政主管部门。

⑥警报解除

总结经验教训，制定或修改防范措施，加强日常环境安全管理，杜绝类似事故发生。

6.应急能力的保持

①应急培训

每年定期进行辐射事故应急培训，主要内容为辐射事故种类、应急程序、应急人员职

责等，培训材料归档保存。

②应急演练

每年定期进行辐射事故应急演练，模拟真实事故现场，保持应急人员的应急能力。演练由辐射事故应急工作领导小组负责，事先制定演练方案，事中检查演练过程并及时发现问题，事后形成事故演练评价，对发现的问题及时纠正，应急演练所有材料均归档保存。

经核实，医院定期开展辐射事故应急演练，详细记录演练过程、参与人员等，对存在的问题进行总结并提出相应的改进措施，对演练材料进行归档保存。医院未发生过辐射安全事故。

7.公安、卫生及生态环境部门电话

公安部门电话：110；卫生部门电话：120；当地生态环境部门电话：12345。

综上所述，项目经采取以上防范措施，严格按照相关法律法规的要求进行管理，定期演习辐射事故应急方案，对发现的问题及时进行整改，可使项目环境风险影响降至最低。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

威海高区利民医院有限公司位于山东省威海市火炬高技术产业开发区沈阳路-96 号，医院现持有辐射安全许可证，证书编号为鲁环辐证[10595]，种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置；有效期至 2026 年 11 月 23 日。

为满足放射诊疗发展需求，医院拟对医院康复中心楼一层西南角区域进行改造，建设核医学工作场所一处，使用放射性核素 ^{18}F ，开展放射诊断，使用放射性核素 ^{89}Sr 开展放射治疗，日等效最大操作量为 $3.33 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所（乙级： $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。

本评价项目涉及核技术利用项目，均应用于放射治疗、诊断，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

13.1.2 现状监测

根据《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》（1989）资料（表 7-2）和本项目监测结果，本项目拟建区域中心位置及周围环境 γ 空气吸收剂量率现状值为（8.75~13.83） $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，与烟台地区环境 γ 辐射空气吸收剂量率处于同一范围[室内（4.56~20.53） $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 、道路（1.94~20.14） $\times 10^{-8} \text{Gy/h}$]。

根据监测结果，医院核医学科附近土壤总 β 为 468~549 Bq/kg，参考《南水北调山东段沿线土壤的放射性水平》（邓太平等，中国辐射卫生 Dec 2006，Vol15，No 4）本项目周围土壤中放射性水平处于本底水平范围内。

13.1.3 选址合理性分析

本项目核医学工作场所选址充分考虑了周围场所的安全，项目位于所在建筑一角，周围无人长期居留，场所周围设计有实体屏蔽墙（物理隔离）和单独的人员、物流通道，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，场所独立布置，设有单独的出、入口，项目患者由场所南端出场所后可直接由医院道路离开医院，场所出口不设置在门诊大厅、收费

处等人群稠密处，与非放射性工作场所有明确的分界隔离，周围少有人经过，且场所排风口位于本建筑屋顶并尽量远离周围高层建筑，故本项目选址合理。

13.1.4 环境影响分析

①医院拟将核医学工作场所划分为“控制区”和“监督区”两区进行分区管理。本项目核医学工作场所拟设置手套箱。PET-CT 机房拟设置门-灯联锁装置，防护门外均拟设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志。

②屏蔽计算校核表明，相关工作场所屏蔽墙体、室顶、地板、防护门、观察窗的设计厚度均能满足核医学工作场所外考察点 γ 空气吸收剂量率低于其相应的剂量率目标控制值。

③本项目核医学工作场所工作人员和公众成员接受的年有效剂量均能够满足国家标准（身体 20mSv/a、公众 1.0mSv/a）及评价采用的工作人员及公众年管理剂量约束值分别不超过 5.0mSv/a、0.1mSv/a 的管理要求。

④放射性固体废物在衰变箱停留衰变达到解控水平后经监测合格后，可清洁解控作为医疗废物处理。医院拟交由有相关处理资质的单位处理。放射性固体废物处置措施适当，不会对环境造成放射性污染。

⑤项目放射性废水中核素半衰期小于 24h，核医学工作场所拟设置放射性废水衰变系统，放射性废水经大于 30d 衰变后，直接解控排放，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，项目废水排入医院污水处理站处理，最终排入城市污水管网，对周围水环境影响较小。

（7）本项目拟在控制区及手套箱设置独立的通风系统，放射性废气经活性炭过滤后高于康复中心楼楼顶 3m 排放。

（8）拟配备手套箱、注射器防护窗、铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜、剂量报警仪、表面沾污仪、衰变箱等。

综上所述，本项目核医学工作场所墙体、室顶、地板及防护门屏蔽厚度符合标准要求。在落实本环评提出的要求和建议后，可满足标准要求，不会对周围环境造成不利影响。

13.1.5 辐射管理

（1）该院已成立辐射安全工作管理小组，负责该院辐射安全与环境保护。

(2) 该院计划根据相关要求及工作实际需要配备相应的防护用品, 为工作人员配备个人剂量监测报警仪, 并购买相应的辐射监测仪器。

(3) 本项目拟配备 5 名工作人员, 医院拟组织工作人员按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部令第 18 号) 及相关规定要求在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习, 考核合格后方可上岗。

医院应严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定, 为所有在职放射工作人员配备个人剂量计, 并定期对工作人员进行个人剂量监测 (3 个月 1 次), 建立个人剂量档案和职业健康监护档案, 并为工作人员保存职业照射记录。

(4) 辐射环境风险评价分析表明, 按照制定的风险防范措施和相应的事故应急救援预案去执行, 其环境风险是可控的。

综上所述, 威海高区利民医院核医学工作场所应用项目, 在严格执行相关法律法规、标准规范等文件, 严格落实各项辐射安全管理、防护措施的前提下, 本项目运行对放射工作人员和公众是安全的, 对周围环境产生的辐射影响较小, 不会引起周围辐射水平的明显变化。因此, 从辐射环境保护角度分析, 该项目建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

(1) 落实环评提出的管理措施和辐射防护措施要求, 不断完善相应的辐射管理制度、环境监测计划和风险事故应急处理预案。

(2) 每年至少进行一次辐射环境监测, 建立监测技术档案, 监测数据定期上报省、市生态环境局备案。

(3) 每周至少进行一次系列的检查, 发现问题及时解决。

13.2.2 承诺

①建立健全辐射安全管理体系, 加强辐射安全教育培训, 提高辐射工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性, 杜绝放射性事故的发生。

②严格执行辐射监测计划, 发现问题及时处理。

③定期检查机房门-灯连锁、工作警示灯等, 确保正常工作, 避免无关人员误入机房。

④做好辐射工作人员培训和再培训，建立健全辐射防护工作档案，对辐射工作人员的辐射防护培训、个人剂量检测、健康查体和辐射防护检测等资料要分开保管并长期保存。

⑤核医学工作场所在工作过程中穿戴好铅衣、铅颈套、铅帽、铅防护眼镜、铅手套等个人辐射防护用品，在铅防护围帘、铅防护吊屏后进行操作，尽量降低受照剂量。

⑥按照辐射事故应急方案和报告制度的要求，定期进行熟练演习。

⑦该项目建成后，按最新环保管理要求开展竣工环境保护验收。

⑧及时组织新招聘工作人员参加辐射安全培训，持证上岗，并为新招聘工作人员增加个人剂量计，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

审批

环保部门预审意见

经办人签字:

单位盖章

年 月 日

审批意见

经办人签字:

单位盖章

年 月 日