

编号：B2023018FS

核技术利用建设项目

介休市人民医院核医学科新建项目
环境影响报告表

(公示本)



核技术利用建设项目

介休市人民医院核医学科新建项目 环境影响报告表

建设单位名称：介休市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：介休市史公东路 199 号

邮政编码：032000

联系人：张锦龙

电子邮箱：jxsyljtzwk@163.com

联系电话：13007062150

打印编号：1695778425000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	506855		
建设项目名称	介休市人民医院核医学科新建项目		
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	介休市人民医院		
统一社会信用代码	12140881407900086E		
法定代表人（签章）	樊金荣		
主要负责人（签字）	樊金荣		
直接负责的主管人员（签字）	史治山		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	山西大地晋新环境科技研究院有限公司		
统一社会信用代码	91140100MA0HK3F3XR		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
李洋	201905035140000012	BH011244	李洋
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
张伟	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议。	BH018428	张伟

环境影响评价工程师

Environmental Impact Assessment Engineer



本证书由中华人民共和国生态环境部和人力资源和社会保障部批准颁发，表明持证人通过国家统一组织的考试，具有环境影响评价工程师的职业水平和能力。

姓 名：李洋
性 别：男
准考证号：1421011000010017551
出生年月：1989年10月
批 准 日期：2019年05月19日
管 理 号：201905035140000012



表1 项目基本情况

建设项目名称	介休市人民医院核医学科新建项目					
建设单位	介休市人民医院					
法人代表	樊金荣	联系人	张锦龙	联系电话	13007062150	
注册地址	介休市史公东路 199 号					
项目建设地点	介休市史公东路 199 号介休市人民医院内西北侧					
立项审批部门	/		批准文号	/		
建设项目总投资 (万元)	3874.1	项目环保投资 (万元)	355.2	投资比例(环保投 资/总投资)	9.17%	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m ²)	720	
应 用 类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类			
	其他					

1 项目概述

1.1 医院概述

介休市人民医院位于介休市史公东路 199 号，总用地面积 6.46 万平方米，总建筑面积 8 万平方米，可开放床位 750 张，年住院量近 3 万人次，年门诊量 301363 人次。全院职工 908 人，其中专业技术人员 765 人，占全院职工总人数的 85%，大专以上学历占 90%，高级职称 51 人，中级职称 127 人，初级职称 516 人。我院开展的和放射相关的科室有：放射影像科、手术室、介入科、骨科、内分泌科等。其中放射影像科（CT、DR、核磁）年门诊/体检量为 43431 人次，住院患者为 18367 人次。2011 年 10 月，介休市人民医院委托中国辐射防护研究院对医院整体建设进行了建设项目环境影响评价，2012 年 6 月 18 日，原介休市环境保护局以介环函[2012]190 号文对项目进行了环评审批。由于医院尚有部分工程未完成，因此未进行竣工环境保护验收。介休市人民医院已开展的核技术利用项目有 2 台医用 II 类射线装置（1 台直线加速器和 1 台 DSA）和 14 台医用 III 类射线装置（1 台胃肠机、2 台 CT 机、3 台 DR 机、1 台移动 G 型臂、1 台口腔 CT、1 台 C 型臂、1 台骨密度仪、1 台模拟治疗机、1 台车载 CT、1 台车载 DR、1 台移动式平板 C 型臂）。根据《建设项目环境影响

评价分类管理名录》等相关法律法规要求，晋中市生态环境局以市环函【2020】342号对2台医用II类射线装置进行环评审批，2021年5月25日项目进行自主验收。根据《建设项目环境影响登记表备案管理办法》等相关要求，现有的14台医用III类射线装置在“建设项目环境影响登记表备案系统（山西省）”完成备案手续。

1.2 项目建设规模

本次核技术利用项目主要是在介休市人民医院内西北侧新建一座核医学楼。一层为核医学及相关功能用房，二层为办公区及相关辅助功能用房，二层顶层局部设置机房设备间。本次核医学拟使用¹⁸F一种非密封放射性核素，配有PET-CT机1台。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法进行计算，¹⁸F的日等效最大操作量为3.70E+06Bq，因此本次核技术利用项目属于丙级非密封放射性物质工作场所。本次评价对象主要为丙级非密封放射性物质工作场所，项目位于新建核医学楼一层区域，楼上为二层办公区及相关辅助用房，楼下为土层，北侧为一层户外绿化带，东侧为一层户外绿化带及消防道路，邻近停车场和广场，核医学南侧为核医学楼内非辐射工作区域，核医学楼南侧为消防道路，西侧邻近污水处理站。目前核医学楼进行了基础以及主体框架的建设，2023年9月5日，晋中市生态环境局以市环罚[2023]501003号文对项目的建设行为下达了行政处罚决定书。建设单位根据处罚文件的要求办理了缴纳罚款相关事宜。

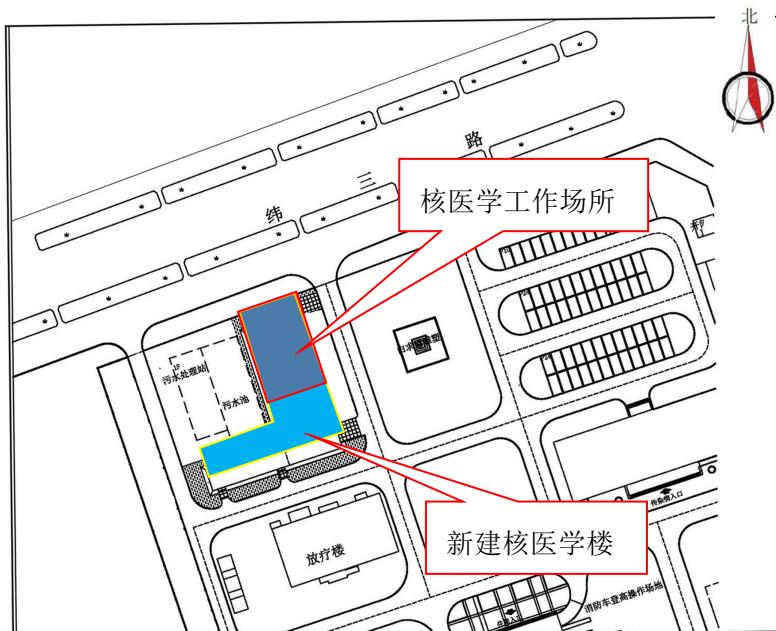


图1 介休市人民医院核医学科新建项目分布示意图

本次新建项目工程组成表见下表。

表 1.1 项目工程组成一览表

项目	建设内容	
主体工程	1、建设内容：患者注射室、分装室、放废间、保洁室、PET-CT 机房、PET-CT 控制室、注射后候诊室、留观室、抢救室、卫生通过间等相关功能用房。 2、源项：PET-CT 机及 PET-CT 显像： ¹⁸ F。	
辅助工程	阅片室、医生更衣室、医生缓冲间、医生淋浴间、注射前候诊大厅、示教室以及其余相关功能用房以及配套的相应设施。	
公用工程	一层空调机房、配电间以及二层办公室区域和其他预留区域、二楼顶层机房间，配套建设的视频监控、对讲广播、通信系统等相应工程。	
环保工程	屏蔽措施	患者注射室、放废间、分装室、通风橱、源库、PET 机房、卫生通过间、留观室、抢救室、注射后候诊室等各功能室及门窗具备相应的辐射屏蔽功能。
	防护措施	辐射监测仪器、注射器铅套、注射窗、铅手提箱、个人剂量报警仪、热释光个人剂量计、个人防护用品等。
	废气	建设独立的机械新风、排风系统，排风管道及屏蔽层，放射性废气活性炭过滤系统。
	废液	建设废液排水管网、沉淀池、衰变池、衰变池监控系统、衰变池检测取样口、废液收集的相应管道及管道屏蔽措施。
	固废	建设放废间用于放射性固体废弃物的暂存。配备铅废物桶用于收集固体废物。
	其他	衰变池衰变后废液依托医院污水管道和污水处理系统处理；暂存衰变后的放射性固体废物、一般固废、医疗废物依托医院固废收集系统处置。

本次核技术利用项目主要是在医院内新建一座核医学楼，使用¹⁸F一种非密封放射性核素，配有 PET-CT 机 1 台，本次新增 PET-CT 机作为本次核医学项目评价中的一部分，不在“建设项目环境影响登记表备案系统（山西省）”单独进行备案，列入本次核医学项目评价内容。

1.3 目的和任务的由来

1.3.1 评价目的

(1) 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(生态环境部令 20 号)，对该医院核技术利用建设项目进行环境影响评价，以掌握其辐射工作场所周围的辐射水平。

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

(3) 满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为该项目的辐射环境管理提供科学依据。

1.3.2 任务由来

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版)等有关规定，介休市人民医院拟开展核医学项目须进行辐射环境影响评价，编制环境

影响报告表。受建设单位介休市人民医院的委托，山西大地晋新环境科技研究院有限公司承担该项目的环境影响评价工作。山西大地晋新环境科技研究院有限公司组织了专业技术人员到现场进行调查、踏勘和资料收集，结合项目特点、性质、规模和环境状况，并按照《辐射环境管理导则-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）的要求，编制完成了该项目的辐射环境影响报告表。

2 项目选址及周边情况

介休市人民医院位于介休市史公东路 199 号。新建核医学楼位于医院西北侧，北侧为户外绿化带和医院围墙，西侧邻近污水处理站，南侧为消防道路，东侧为户外绿化带及消防道路。核医学工作场所位于新建核医学楼的一层北侧区域，属于丙级非密封放射性物质工作场所，其周围 50m 范围内楼上为二层办公区及相关辅助用房，楼下为土层，北侧为一层户外绿化带和医院围墙，围墙外为军民东路，东侧为一层户外绿化带及消防道路，邻近停车场和广场，南侧为核医学楼内非辐射工作区域，核医学楼南侧为消防道路和放疗楼（距离 30m），西侧邻近污水处理站（距离 16m）和消防道路，以及临建施工生活区（距离 32m）和医院围墙，围墙外围为方舱医院（距离 39m）。项目周边四邻关系详见附图 3。

3 核技术利用及辐射安全管理现状

（1）核技术利用基本情况

介休市人民医院于 2022 年 8 月 22 日更换了辐射安全许可证晋环辐证[K0053]，有效期至 2027 年 8 月 21 日，辐射安全许可证上登记的种类和范围为：使用 II、III 类射线装置。介休市人民医院已许可的现有 II 类、III 类射线装置详见下表。

表 1.2 已许可使用 II 类、III 类射线装置明细表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	最大管电压 kV	最大管电流 mA	安装位置	备注
1	医用直线加速器	UNIQUE	II	1	X 射线最大能量：6MV		放疗中心：放疗中心地下一层直线加速器室	环评：市环函【2020】342号；2021年5月25日自主验收
2	血管造影机	IGS-330	II	1	125	1000	门诊楼二层介入室	
3	多功能 X 射线高频胃肠系统	DRF-2D 型	III	1	150	1000	胃肠造影室：门诊一层医学影像中心	
4	CT 机	SOMATOM Perspective	III	1	130	345	CT1 室：门诊楼一层医学影像中心	备案号：20171408240000006
5	DR 机	Multix Select	III	1	130	500	DR2 室：门诊楼一层医学影像中心	

续表 1.2 已许可使用 II 类、III类射线装置明细表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	最大管电压 kV	最大管电流 mA	安装位置	备注
6	移动式 G 型臂	Orca DigiArc 100AC	III	1	110	15	5 号手术间：门诊楼四层手术室	备案号： 20171408240 0000006
7	口腔 CT 机	OP300-1	III	1	90	15	口腔 CT 室：门诊楼二层口腔科	
8	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	Multix Fusion Max	III	1	150	1000	DR1 室：门诊楼一层	备案号： 20221407810 0000026
9	移动式摄影 X 射线机 (移动 DR)	M40-1A	III	1	125	250	门诊楼一层放射影像科	
10	移动式 C 型臂 X 射线机	OEC Elite	III	1	120	150	9 号手术间：门诊楼四层	备案号： 20221407810 0000026
11	双能 X 射线骨密度仪	PRIMUS	III	1	83	3	门诊三层、体检科	
12	放射治疗模拟机	HM-MD-I	III	1	125	400	放疗中心负一层	备案号： 20231407810 0000038
13	车载 CT	ANATOM 64 Fit	III	1	140	3	体检车	
14	车载 DR	DR1000	III	1	150	630	体检车	备案号： 20231407810 0000038
15	X 射线计算机体层摄影设备	SOMATOM Drive	III	1	140	800	CT2 室：门诊楼一层医学影像中心	
16	移动式平板 C 形 X 射线机	PLX118F/a	III	1	120	100	门诊楼四层手术间	

(2) 辐射安全管理情况

医院已设立了以院长为组长的辐射安全监督领导管理机构，由具有本科及以上学历的技术人员专职负责辐射安全工作，并以红头形式下发至各相关部门。

医院已制定了完善的规章制度，且分解到各个部门具体执行，主要包括《辐射防护和安全保卫制度》《射线装置操作规程》《设备检修维护制度》《辐射工作人员培训制度》《辐射工作人员和辐射工作场所监测制度》《放射工作岗位职责》《射线装置安全和防护应急预案》《质量控制与质量保证方案》等，并在日常工作中得到了较好的落实。

(3) 辐射安全与防护培训

医院现有辐射工作人员 42 名，均已参加辐射安全与防护培训。

(4) 人员剂量

医院按要求每季度对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量监测档案。根据2022年度的个人剂量年度报告，医院所有辐射工作人员的个人剂量监测数据满足相关限值要求。

(5) 年度评估报告

医院已于每年年底编制完成了年度评估报告，并于次年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统进行了填报，同时，年度评估报告纸质档案加盖公章后已分别上报晋中市生态环境局、晋中市生态环境局介休分局备案。

(6) 辐射事故应急演练

医院已每年针对不同的辐射事故开展一次辐射事故应急演练，建立了应急演练记录。

据了解，医院核技术利用项目在实际运行过程中，各科室辐射工作人员较好地遵守了医院建立的各项安全管理规定，从未发生辐射安全事故。

4 产业政策符合性分析与实践正当性分析

本项目是核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会2019年第29号令《产业结构调整指导目录》（2019年本，2021年修订），本项目属于鼓励类中第六项“核能”的第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”、第十三项“医药”的第5条“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备”及第三十七项“卫生健康”的第5条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高医疗卫生水平，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

建设单位在诊断过程中，对非密封放射性物质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。在正确使用和管理非密封放射性物质的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给医护人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用的实践具有正当性。

5 项目辐射防护及环保措施投资

表1.3 辐射防护及环保措施投资一览表

项目	具体措施		投资(万元)
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	患者注射室、放废间、分装室、通风橱、源库、卫生通过间、留观室、抢救室、注射后候诊室、PET-CT 机房等各功能室和门窗以及排风管道、排水管道配置的相应辐射屏蔽措施。	261.2
	安全措施	控制区的入口设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志、监督区入口处设置标明监督区的标志以及辐射工作场所内的地面指引标识、PET-CT 机房设置安装工作状态指示灯和急停按钮；机房内外设视频监控等。	
	通风设施	建设独立的机械新风、排风系统，使用专用通风管道引至楼顶排放，排气筒高出建筑，并设置活性炭等过滤装置等。	
	排水设施	设置独立排水设施、设置沉淀池、衰变池、检测取样口等。	
	固废	建设放废间用于放射性固体废弃物的暂存。分别在放废间、分装室、注射室、注射后候诊室、留观室、抢救室配备铅废物桶用于收集固体废物。	
人员配备	辐射防护与安全培训和考核	辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。	6.0
	个人防护用品	配备防护铅衣、铅防护眼镜、铅橡胶手套等防护用品。	5.0
	个人剂量监测	辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期送检（最长不应超过 90 天），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。	10.0
监测仪器和防护用品配备	监测仪器	便携式辐射剂量监测仪、表面沾污监测仪、活度计等。	15.0
	个人剂量计	热释光个人剂量计、个人剂量报警仪等。	3.0
辐射管理	辐射监测	日常自主检测及委托有资质单位监测。	20.0
	环保手续	环境影响评价及竣工环境保护验收。	20.0
	日常管理	日常档案管理、年度评估报告上报等。	10.0
	辐射安全管理 制度	根据核技术利用情况，重新制定或完善相关管理制度等。	5.0
合计			355.2

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁸ F	液体、低毒 $T_{1/2}=109.8\text{m in}$	使用	3.70E+09	3.70E+06	9.25E+11	诊断	很简单操作	核医学工作场所 PET-CT	核医学科分装室 通风橱	本次评价

备注：本项目 ¹⁸F 每人最大用量 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，日最大诊断人数 10 人，年最大诊断人数 2500 人。

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

表 4 射线装置

(一) 加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	剂量率 (cGy/min)	用途	工作场所	备注

(二) X射线机

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III	1	PoleStar m680	140	570	诊断	PET-CT 机房	本次评价

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固废（注射器、操作手套、口罩、棉签、试纸等）	固体	¹⁸ F	/	12.5kg	50kg	暂存期超过30天且包装表面剂量 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ $\beta < 4\text{Bq/cm}^2$ 。	收集于放射性废物桶中，转移至废物间暂存衰变。	暂存期超过30天且监测达到标准后按医疗废物处理。
废旧活性炭及失效过滤器	固体	¹⁸ F	/	/	20kg/a			
含放射性核素的废液	液体	¹⁸ F	/	3.25m ³	39.00m ³	暂存期超过30天 衰变池出水口总β放射性 $\leq 10\text{Bq/L}$	衰变池	经衰变池 超过30天衰变后排入医院污水处理站进行处理。
核医学科废气	气态	¹⁸ F	/	/	/	/	/	微量废气 经过滤净化装置后排至楼顶大气。

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

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

表 6 评价依据

法规 文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月)； (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003年10月)； (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018年12月29日起施行)； (4) 《放射性废物安全管理条例》2012年3月； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019修订)(2019年3月2日)； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中华人民共和国生态环境部令第20号修改(2021年1月4日实施)； (7) 《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5月1日起实施； (8) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第9号)，2019年11月1日实施； (9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》2021年1月1日实施； (10) 《放射源分类办法》环保总局2005年第62号，2005年12月23日； (11) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》环办辐射函〔2016〕430号文； (12) 《山西省辐射事故应急预案》山西省人民政府办公厅，晋政办发〔2021〕23号，2021年2月26日； (13) 《晋中市辐射事故应急预案》； (14) 《介休市辐射事故应急预案》。

技术 标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(2) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)；</p> <p>(3) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(4) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(6) 《表面污染测定第1部分 β发射体($E_{\beta} \max 0.15\text{MeV}$)和α发射体》(GB/T 14056.1-2008)；</p> <p>(7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(9) 《丙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》(NNSA HQ-08-JD-IP-007)；</p> <p>(10) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)。</p>
其他	<p>(1) 项目委托书；</p> <p>(2) 医院提供的辐射防护设计图及电气设计图等；</p> <p>(3) 《辐射安全手册》潘自强，2011.11；</p> <p>(4) 《电离辐射医学应用的防护与安全》郑钧正，2009.2；</p> <p>(5) 《山西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，《辐射防护》，第10卷第6期，1990.11。</p>

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的规定，非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，丙级取核医学工作场所周围半径50m的范围。评价范围示意图如下：

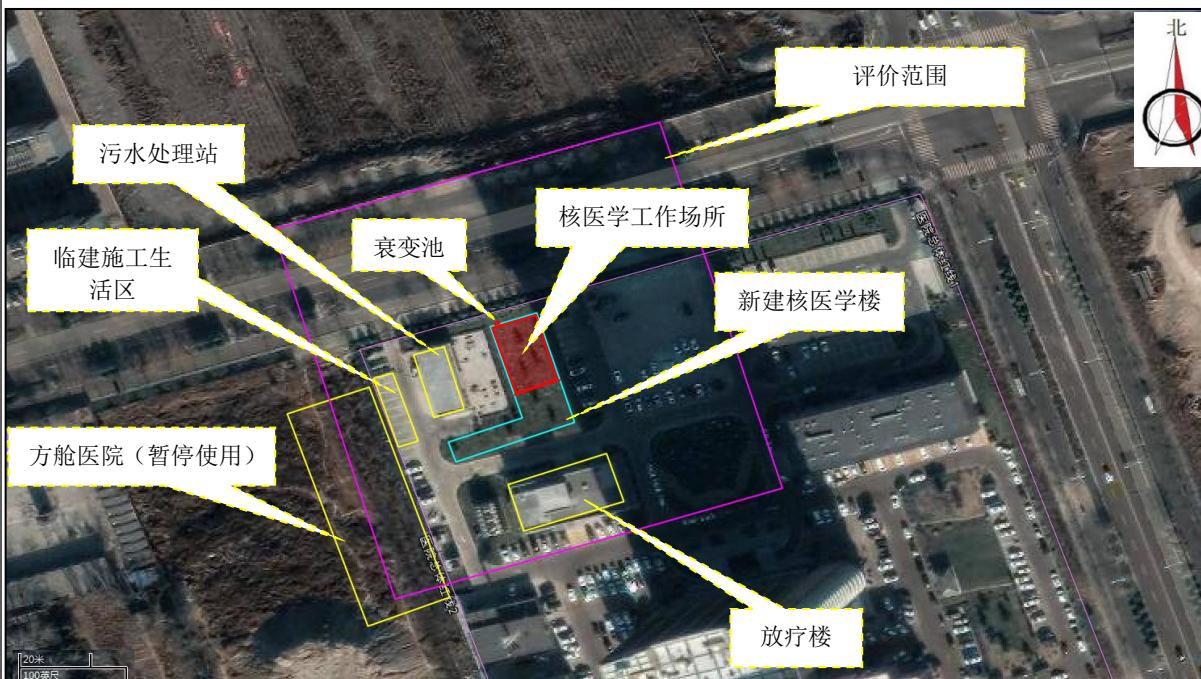


图 7.1 本项目评价范围示意图

7.2 保护目标

介休市人民医院位于介休市史公东路 199 号。新建核医学楼位于医院西北侧，北侧为户外绿化带和医院围墙，西侧邻近污水处理站，南侧为消防道路，东侧为户外绿化带及消防道路。核医学工作场所位于新建核医学楼的一层北侧区域，属于丙级非密封放射性物质工作场所，其周围 50m 范围内楼上为二层办公区及相关辅助用房，楼下为土层，北侧为一层户外绿化带和医院围墙，围墙外为军民东路，东侧为一层户外绿化带及消防道路，邻近停车场和广场，南侧为核医学楼内非辐射工作区域，核医学楼南侧为消防道路和放疗楼（距离 30m），西侧邻近污水处理站（距离 16m）和消防道路，以及临建施工生活区（距离 32m）和医院围墙，围墙外为方舱医院（距离 39m）。本项目核医学工作场所边界外 50m 评价范围内分布人员主要是院内及楼内各科室的医院工作人员、前来就诊的病患、陪护人员。故该项目环境保护目标为：评价范围内的工作人员和公众成员（不包括开展核技术利用项目的患者）。

表 7.1 本项目评价范围内环境保护目标一览表

辐射工作场所	方位	周围场所及距离 (m)	保护目标	数量(人)
核医学工作场所	场所内	分装、注射室工作人员	辐射工作人员	1
		PET-CT 控制室工作人员	辐射工作人员	2
		阅片室工作人员	辐射工作人员	2
	场所周围	北侧 北侧围墙外人员距 3m	公众成员	10
		西侧 污水处理站工作人员距 16m	公众成员	2
		西南侧 临建施工生活区人员距 32m	公众成员	10
		西南侧 方舱医院工作人员距 39m	公众成员	3
		南侧 放疗楼工作人员距 30m	公众成员	20
		南侧 一层核医学学科楼内非辐射工作人员距 1m	公众成员	10
		东侧 户外广场人员距 3m	公众成员	5
		屋顶 二层办公区人员距 4.8m	公众成员	10

备注：表格中注明距离为周围敏感目标距离辐射工作场所的距离。

7.3 评价标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），并按照辐射防护最优化原则，项目职业人员、公众成员剂量约束值及周围剂量当量率控制目标值及放射性表面污染控制水平见表 7.2。

表 7.2 本项目剂量约束值、周围剂量当量率控制目标值、表面污染控制水平一览表

场所	项目名称		评价指标
核医学工作场所	剂量约束值	职业人员	$\leq 5\text{mSv/a}$
		公众成员	$\leq 0.1\text{mSv/a}$
	核医学工作场所控制区内房间屏蔽体外表面 30cm 处（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）的周围剂量当量率控制目标值。		$< 2.5\mu\text{Sv/h}$
	核医学工作场所控制区内房间屏蔽体外表面 30cm 处（人员居留因子 $< 1/2$ ）的周围剂量当量率控制目标值。		$< 10\mu\text{Sv/h}$
	通风柜、注射窗设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率控制目标值。		$< 2.5\mu\text{Sv/h}$
	非正对人员操作位表面。		$\leq 25\mu\text{Sv/h}$
	固体放射性废物收集桶、暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值。		$< 2.5\mu\text{Sv/h}$
	β 表面污染控制水平	(工作台、设备、墙壁、地面) 控制区	40Bq/cm^2
		(工作台、设备、墙壁、地面) 监督区	4.0Bq/cm^2
		(工作服、手套、工作鞋) 控制区	4.0Bq/cm^2
		(工作服、手套、工作鞋) 监督区	4.0Bq/cm^2
		手、皮肤、内衣、工作袜	0.4Bq/cm^2
放射性固废	(1) 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：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) 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），放射性废物每袋不超过 20kg。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 发射体应小于 4Bq/cm^2 。		
	每袋废物（重量 $\leq 20\text{kg}$ ）表面剂量率		$\leq 0.1\text{mSv/h}$
	废物包装体外表面污染水平		$\beta < 4 \text{ Bq/cm}^2$
	^{18}F	可作非放射性废物处理	免管浓度 $\leq 1 \times 10^4\text{Bq/kg}$
	对于核医学诊断，可设置放射性废液衰变池。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。		

续表 7.2 本项目剂量约束值、周围剂量当量率控制目标值、表面污染控制水平等一览表

场所	项目名称			评价指标
核医学工作场所	放射性废液	¹⁸ F	一次排放活度不超过	2.15×10^8 Bq
			月排放总活度不超过	2.15×10^9 Bq
			总β放射性（衰变池出口）	≤ 10 Bq/L
备注：本次使用非密封放射性核素 ¹⁸ F 半衰期为 109.8min，小于 24 小时。				

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状
8.1 项目地理位置 <p>介休市人民医院位于介休市史公东路 199 号。新建核医学楼位于医院西北侧，北侧为户外绿化带和医院围墙，西侧邻近污水处理站，南侧为消防道路，东侧为户外绿化带及消防道路。本次开展的核技术利用项目位于新建核医学楼一层，项目地理位置图见附图 1。</p>
8.2 评价区环境地表γ辐射剂量率现状监测 <p>为评价本项目评价区的辐射环境质量，2023 年 4 月 27 日，由山西大地晋新环境科技研究院有限公司对本次环评对象所在场所评价区内环境γ辐射剂量率进行检测。</p>
8.2.1 监测内容 <p>环境γ辐射剂量率。</p>
8.2.2 监测的环境条件及工况 <p>环境温度 16℃；相对湿度 50%；天气 晴。</p>
8.2.3 监测仪器 <p>仪器名称：辐射检测仪； 能量响应：50keV~3MeV； 量程：10nSv/h~100μSv/h； 校准有效期：2022.8.25-2023.8.24； 检定机构：中国辐射防护研究院放射性计量站； 检定证书编号：检字第[2022]-LA170。</p>
8.2.4 监测依据 <p>《环境γ辐射剂量率测量技术规范》HJ1157-2021； 《辐射环境监测技术规范》HJ61-2021。</p>
8.2.5 监测布点 <p>现场检测时新建核医学楼正处于楼体建设阶段，因此本次对核技术项目所在新建核医学楼及周围边界外 50m 范围进行环境γ辐射剂量率现状检测，检测点位能够反映项目所在场所的辐射环境水平。</p>
8.2.6 质量保证措施 <p>(1) 使用的仪器经中国辐射防护研究院放射性计量站检定，确保监测数据的准确、可靠。</p>

- (2) 严格按照操作规程操作检测仪器，并认真做好记录，专人负责质量保证及核查检查工作。
- (3) 监测数据处理按《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》要求进行。

8.2.7 辐射环境质量现状评价

监测结果见表 8.1。

表 8.1 评价范围内环境 γ 辐射剂量率监测结果

序号	房间	监测点位	本底监测值 (nGy/h)
1	介休市人民医院新建科医学科楼中心及周边	核医学楼中央 (1#)	82
2		核医学楼北侧 (2#)	71
3		核医学楼北侧衰变池 (3#)	85
4		核医学楼西侧 (4#)	77
5		核医学楼西侧污水处理站 (5#)	95
6		核医学楼西南侧 (6#)	79
7		核医学楼西南侧临时生活区 (7#)	105
8		核医学楼西南侧方舱医院 (闲置) (8#)	76
9		核医学楼南侧 (9#)	71
10		核医学楼南侧放疗楼 (10#)	96
11		核医学楼东侧 1m (11#)	76
12		核医学楼东侧 10m (12#)	87
13		核医学楼东侧 30m (13#)	69
14		核医学楼东侧 50m (14#)	68

备注：表中检测结果均已扣除宇宙射线。

由检测结果可知，介休市人民医院新建科医学楼中心及周边 50m 范围内场所环境 γ 辐射剂量率监测值在 (68~105) nGy/h 之间，与晋中市 γ 辐射剂量率本底水平 (32.7~109.5) nGy/h 相比为正常辐射本底水平(《山西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，《辐射防护》，第 10 卷第 6 期，1990.11)。

8.3 评价区土壤放射性现状监测

为评价本项目评价区的土壤放射性环境质量，2023 年 4 月 28 日，委托中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心对本次环评对象所在场所内土壤进行采样检测。

8.3.1 监测内容

土壤中本项目应用核素

8.3.2 采样日期

2023 年 4 月 28 日

8.3.3 采样布点

布点方法：采用梅花形布点方法并结合现场情况，共在 5 个位置采样，分别介休市人民医院新建核医学楼周围各布置 1 个采样点，每个点在 10m×10m 范围内，采取 0~10cm 的表层土。

采集方法：

- (1) 对选定的取样点编上系列号，去除散在表面上的植物，杂草石等；
- (2) 把土壤采样器垂直于取样点表面放置，用锤子把采样器冲打到 10cm；
- (3) 用铁锹把采集器从冲打的深度回收上来，同时去除其外围的土壤。把采集器内采集到的土壤放入聚乙烯口袋内。

样品预处理：

将采集的土壤样品平铺在塑料布上去除石块、草根等杂物，现场混合后取 2kg 样品，装在双层塑料袋内密封，再置于同样大小的布袋中保存。

采样布点情况如下：



图 8.1 本项目土壤监测采样布点图

8.3.4 监测依据

- 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；
《土壤中放射性核素的γ能谱分析方法》GB/T 11743-2013。

8.3.5 土壤中应用核素监测结果

该医院核医学工作场所及评价范围内土壤中各应用核素监测结果见下表。

表 8.2 评价范围内土壤中放射性核素监测结果

序号	检测地点	分析结果 (Bq/kg)	备注
1	¹⁸ F	<0.63	/
2	总β	699	/

由分析结果可知，采样土壤总β分析测量值为 699Bq/kg，属于正常天然本底水平。采样土壤中核素 ¹⁸F 低于探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

9.1.1 核医学（丙级非密封放射性物质工作场所）

介休市人民医院位于介休市史公东路 199 号。新建核医学楼位于医院西北侧，核医学工作场所位于新建核医学楼的一层北侧区域，属于丙级非密封放射性物质工作场所，其周围 50m 范围内楼上为二层办公区及相关辅助用房，楼下为土层，北侧为一层户外绿化带和医院围墙，东侧为一层户外绿化带及消防道路，南侧为核医学楼内非辐射工作区域，西侧邻近污水处理站。核医学工作场所内设置患者注射室、放废间、分装室、源库、缓冲间、淋浴间、更衣室、控制室、PET-CT 机房、注射后候诊室、留观室、抢救室等相关功能用房，新建核医学楼一层平面布置见附图 4。

9.1.2 核医学辐射工作场所分级

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）“4.2 辐射工作场所应按照 GB 18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录A。”

核医学常用放射性核素毒性组别修正因子见表 9.1，核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子见表 9.2。

表 9.1 核医学拟用放射性核素毒性组别修正因子

常用核素名称	毒性组别	毒性组别修正因子
¹⁸ F	低毒	0.01

表 9.2 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
医疗机构使用	¹⁸ F（液态）	很简单操作	10

按照环办辐射函【2016】430 号的规定：常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取：医疗机构使用 ¹⁸F 相关活动视为“很简单的操作”。因此，本项目所使用的核素按“很简单操作”考虑。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作规程方式修正因子}}$$

放射性工作场所因操作放射性物质的毒性组别和操作量的不同，产生的放射性危害的概率也不同，为了便于管理，非密封性工作场所按所用放射性核素最大等效日用量并考虑操作因素分为甲、乙、丙三级。

根据计算，医院核医学工作场所使用的放射性同位素日最大等效操作量见下表。

表 9.3 医院核医学工作场所使用的放射性同位素日最大等效操作量

序号	操作场所	核素及状态	日最大操作量 Bq	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量 Bq	场所等级
1	分装室	¹⁸ F (液态)	3.70E+09	0.01	很简单操作	10	3.70E+06	丙级

备注：根据建设单位提供资料，本项目核医学每日最大诊断人数为 10 人，¹⁸F 每人最大用量为 10mCi (3.70E+8Bq)，药物外购。

根据本项目使用的放射性核素的毒性组别、用量及操作因子，算出日最大等效操作总量为：
 $3.7 \times 10^6 \text{ Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所 ($1 \times 10^6 \text{ Bq} \sim 2 \times 10^7 \text{ Bq}$)。

9.1.3 核医学使用的放射性核素特性

本项目使用的放射性核素特性参数见下表。

表 9.4 医院核医学工作场所使用的放射性同位素特性一览表

序号	核素	半衰期	衰变方式	α/β 最大能量 MeV	光子能量 MeV	周围剂量当量率常数(裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	毒性分组	用途	来源
1	¹⁸ F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143	低毒	PET 显像	外购

备注：EC 表示轨道电子俘获，“—”表示无值。上表数据主要来源于《核医学放射防护要求》GBZ120-2020 及《辐射防护手册》潘自强。

9.1.4 核医学 PET-CT 显像

(1) 工作原理

应用短半衰期核素 ¹⁸F (正电子核素) 为示踪剂，¹⁸FDG 可准确反映体内器官/组织的葡萄糖代谢水平，是目前 PET-CT 显像的主要显像剂。恶性肿瘤细胞由于代谢旺盛，导致对葡萄糖的需求增加，因此静脉注射葡萄糖类似物 (¹⁸FDG) 后，大多数肿瘤病灶会表现为对 ¹⁸FDG 的高摄取，因此可应用 ¹⁸FDG PET-CT 显像可早期发现全身肿瘤原发及转移病灶，准确判断其良、恶性，从而正确指导临床治疗决策。此外，通过对心肌、脑组织的 ¹⁸F-FDG 糖代谢功能测定，可早期发现和诊断存活心肌和脑功能性病变，干预疾病的发生发展，达到早期防治目的。

(2) 操作流程简述

根据患者情况购买核素→核素购回后送至核医学楼分装室→分装室通风橱→药物分装→患者注

射→患者到注射后候诊室候诊→患者到 PET-CT 机房显影扫描→患者到 PET-CT 留观→离开医院。

具体如下：

①预约登记：根据医生的指导意见，需要接受显像检查的患者提前通过预约方式进行预约登记，确定用药量。

②药物订购及接收：核医学辐射工作人员根据患者用药量采购所需的放射性药物，药物生产厂家在每天早上 8: 00 之前将药物配送至核医学楼分装室，辐射工作人员在分装室内清点并接收药物，将药物放入药物分装通风橱内。

③药物分装：辐射工作人员按每位患者所需的剂量在分装室通风橱内进行自动分装，分装后的药物暂存于一次性注射器中，便于注射。

④药物注射：准备好的受检者听从指引通过专用患者通道到 PET-CT 注射窗口，护士取出准备好的药物通过注射窗口给患者注射，一次性操作的最大活度为 10mCi，注射操作时间 1min/人次。

⑤注射药后候诊：注射药后的受检者按提示进入 PET-CT 候诊室候诊，待放射性药物在机体内有一定程度的代谢，在不同器官及组织形成分布，等待时间约 30-40min。

⑥扫描准备：患者根据提示进入 PET-CT 机房，在技师的指导下进行摆位，做好扫描前的各项准备。技师一般通过 PET-CT 机房与控制室连接的对讲设备邻室指导患者摆位，特殊情况下需进入机房内现场指导摆位，现场指导摆位时技师需穿戴铅衣防护。每位患者摆位的时间平均约为 2mins，机房内辅助病人摆位工作人员为 2 人，轮流操作。

⑦PET-CT 扫描：技师进入 PET-CT 控制室，关闭机房的所有防护门，在控制室操控设备，进行扫描，得到扫描结果。由医师对扫描图像进行分析，做出诊断报告并签字。完成 1 名患者的全身扫描时间约 15~20min。

⑧患者留观：扫描结束后，患者根据提示进入留观室留观，在此时间内，医师对患者的扫描结果进行评估，如需要做延迟显像的患者需在初次扫描结束后 1~1.5h 再次局部延迟扫描，采集时间约 5~10 min。

⑨离开：医生认为图像符合要求后，通过广播通知患者离开。

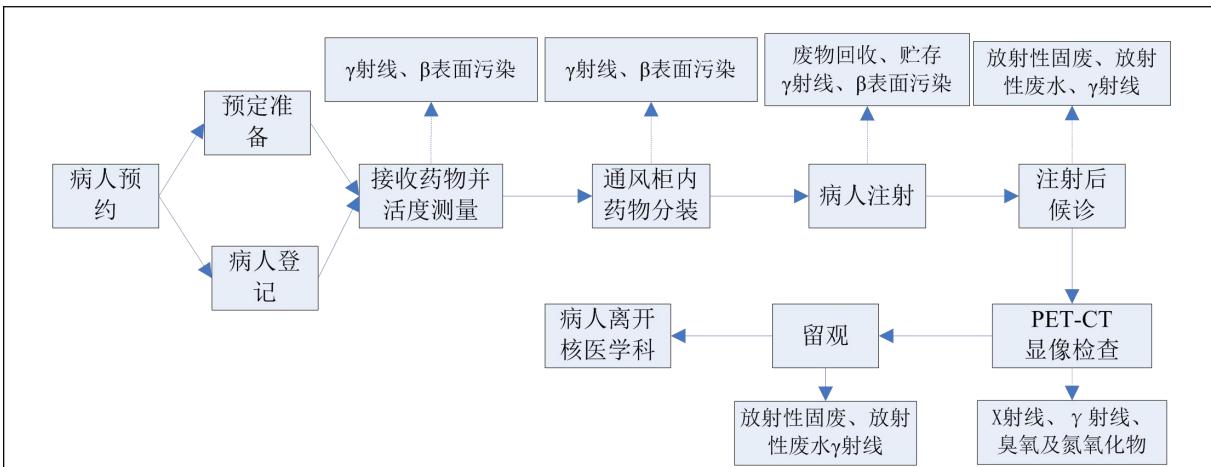


图 9.1 PET-CT 显像检查工作流程图

(3) 药物操作及转移流程

医院根据病人预约情况提前向有资质的放射性药物 (^{18}F) 供货商订药，由专用放射性药物运输车辆送达医院新建核医学楼一层核医学工作场所分装室通风橱内，药物运输要和病人就诊时间错时错峰进行，放射性药物的分装在通风橱中进行自动分装，分装每人次分装时间按 1min，每天 10min。

药物分装完成后由注射护士在注射窗口给病人注射（注射器防护套 15mmPb）， ^{18}F 注射台安装有 70mmpb 的铅玻璃注射窗，每次注射时间小于 1 分钟。病人注射后在注射候诊室候诊，待药物充分代谢后，进入 PET-CT 扫描室，由摆位人员指导病人摆位，摆位时间不超过 2min，PET-CT 的扫描时间约 15-20 分钟。扫描完成后，病人离开扫描室至 PET-CT 留观室留观，留观无碍后由病人通道离开。

(4) 产污环节

^{18}F 发生的正电子和负电子相结合，能产生淹没 γ 光子辐射，能量为 0.511MeV， γ 射线是主要的污染因子。在操作有标记 ^{18}F 的试剂的时候，会对工作台、工作服和手套产生放射性沾污，也会产生固体废弃物。以及注射放射性药物的病人产生的排泄物和擦洗台面的废水都属于放射性废液。因此，应用 ^{18}F 标记药物在 PET-CT 下开展显像诊断污染因子主要有 γ 射线、 β 表面污染以及 PET-CT 设备产生的 X 射线。

(5) 放射源

根据设备厂家的配置设备说明，本次拟使用的 PET-CT 采用无源质控技术，因此本项目不需要配置放射源。

9.1.5 核医学人员配置及岗位设置

本项目核医学工作场所拟配置 5 名辐射工作人员。其中医师 2 名, ¹⁸F 分装及注射人员(护师) 1 名, PET-CT 检查(技师) 2 名。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期污染工序及产污情况

本项目施工活动主要为核医学楼施工建设、屏蔽施工和室内装修, 主要的污染物有: 噪声、扬尘、施工废水、固体废物等。

(1) 噪声

本项目施工期施工内容主要为新建核医学楼的施工建设, 施工噪声主要为土建施工建设过程产生的设备噪声, 这些噪声源噪声值在 75~90dB(A) 之间。项目施工区域位于医院西北角区域, 周边环境均为空地和道路等非敏感场所, 因此项目施工噪声对周围声环境影响较小, 避免夜间高噪声设备或高噪声工序施工, 减少对医院周边区域的噪声影响。

(2) 扬尘

本项目施工活动对环境空气的主要影响为扬尘。土建施工过程中, 材料的搬运, 以及场所的开挖等将会产生一定的粉尘污染。应合理设置施工方案, 并做好必要的密闭、洒水等防尘抑尘措施, 减少对周围环境的影响。

(3) 废水

主要为施工人员产生的少量生活污水, 生活污水经医院污水管道排至医院污水处理站处理后汇集至市政污水管网, 对周围环境影响较小。

(4) 固体废物

主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工人员生活垃圾由环卫部门统一处置, 建筑垃圾送合法的建筑垃圾堆放场处置。

9.2.2 营运期污染工序及产污情况

9.2.2.1 放射性污染

1、电离辐射-¹⁸F 非密封放射性物质

PET-CT 诊断过程主要产生的放射性污染为诊断用放射性核素 ¹⁸F 产生的β射线、γ射线以及 PET-CT 设备产生的 X 射线, 涉及工序包括药物运输及暂存、注射、注射后候诊、PET-CT 扫描检查及留观等。¹⁸F 等核素发生的正电子和负电子相结合, 能产生淹没γ光子辐射, 能量为 0.511MeV, γ射线是主要的污染因子, 另外, 在操作药物针剂的时候, 可能会对工作台、工作服和手套产生放射性沾污, 即β表面污染。

2、放射性固体废物

A.注射放射性药物产生的注射器、棉签、手套等，收集于放射性废物桶中，转移至放废间暂存衰变。

B.通排风系统更换下的废过滤装置及过滤材料，收集转移至放废间暂存衰变。

3、放射性废液

本项目核医学工作场所产生放射性废液主要来源是医护人员操作过程手部受到微量污染、应急淋浴或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性废液以及病人清洗及排便废水，上述过程产生的辐射工作场所医护人员清洗及应急淋浴废液、就诊病人清洗及排泄放射性废液、地坪的清洁工具清洗废液均排入衰变池，衰变处理后排入医院污水处理站处理后排入市政污水管网。

4、放射性废气

本项目产生的放射性废气主要为分装室通风橱产生的放射性废气，在通风橱设置了独立的排风系统，在排风管道上安装高效活性炭过滤装置，有效地过滤及吸附废气中的有害微粒，达到废气排放要求，不会对周围环境造成明显危害。另外本项目共设置五套排风系统，其中 PE-CT 机房和分装室的通风橱为独立排风系统，每一套排风系统顶部均安装有活性炭高效过滤装置，所有排风废气均经过滤后进行达标排放。

9.2.2.2 其他污染

1、工作人员和部分患者产生的生活污水和生活垃圾。生活污水排入医院污水管网后排入城市污水管网，生活垃圾交环卫部门统一清运。

2、本项目噪声主要为空调、通风等设备等运行时产生的噪声，所有设备均选用低噪声设备，且均安装于室内，通过墙体隔声及距离衰减后，运行期间对周围环境影响较小。

丙级非密封放射性物质工作场所营运期产生的污染物详见表 9.5。

表 9.5 本项目营运期主要污染因子一览表

污染源	主要污染因子	
丙级非密封放射性工作场所	电离辐射	β 射线、 γ 射线、X 射线。
	放射性固体废物	废注射器、棉签、棉球、手套等放射性废物。
	放射性废液	医护人员清洗废水、应急淋浴废液、病人清洗废液及排泄物、控制区地面清洗废液；放射性药物针剂操作过程的放射性去污洗涤废液等。
	废气	通风橱操作、注射过程中可能产生的微量放射性药物气溶胶。
	噪声	空调、通风机设备等运行时产生的噪声。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目选址合理性

1、医院外环境关系

本项目核技术利用项目位于医院西北侧新建核医学楼一层。根据现场踏勘，新建核医学楼位于医院西北侧，北侧为户外绿化带和医院围墙，西侧邻近污水处理站，南侧为消防道路，东侧为户外绿化带及消防道路。其周围 50m 范围内楼上为二层办公区及相关辅助用房，楼下为土层，北侧为一层户外绿化带和医院围墙，围墙外为军民东路，东侧为一层户外绿化带及消防道路，邻近停车场和广场，南侧为核医学楼内非辐射工作区域，核医学楼南侧为消防道路和放疗楼（距离 30m），西侧邻近污水处理站（距离 16m）和消防道路，以及临建施工生活区（距离 32m）和医院围墙，围墙外围为方舱医院（距离 39m）。

2、项目外环境关系

本次拟新增核医学楼位于医院西北侧的空闲场地。项目评价范围为辐射工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围，项目评价范围外环境关系见表 7.1。由表 7.1 可知，本项目核医学工作场所边界外 50m 评价范围内分布人员主要是院内及楼内各科室的医院工作人员、前来就诊的病患、陪护人员。故该项目环境保护目标为：评价范围内的工作人员和公众成员（不包括开展核技术利用项目的患者）。

3、选址合理性分析

①与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求符合性分析

本项目与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关选址要求符合性分析见下表

表 10.1 选址标准要求与实际情况对比符合性分析

标准要求	项目实际情况	结果
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。	本项目位于新建核医学楼一层，该楼无地下室，位于建筑物的底层，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设置了独立的人员、物流通道。	符合
核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	根据现场踏勘，本项目不毗邻产科、儿科、食堂等部门，同时与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，并有实体屏蔽措施。	符合
核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目设置独立排风系统，且排风管道引至核医学楼顶进行排放。	符合

②与周边环境相容性

本项目产生的放射性废液经沉淀池、衰变池衰变后排入医院污水处理站处理后排入市政污水管网，不会对当地水质产生明显影响；项目产生的放射性废气引至本建筑物楼顶经高效活性炭过滤后进行排放，不会对周围大气产生明显影响；项目产生的其他放射性废物收集暂存于放废间暂存，衰变达到解控水平后定期交由有资质的医疗废物处置单位收集；本项目产噪设备为空调、风机等，声级约为 65dB (A) 左右，经采用低噪设备后噪声影响不大，不会改变区域声环境功能区规划；同时本项目建设不占用医院消防通道和内部公共设施，与医院内部原有布置及周围环境相容。

本项目位置相对独立，与周围敏感目标有一定的距离。本项目运行阶段产生的电离辐射经有效屏蔽后对周围环境影响较小。

③与楼上非辐射工作场所的相互独立性

本项目位置相对独立，设置有单独的出入口，与楼上非辐射工作场所的工作人员和公众成员有不同的出入口。

④小结

本项目位置相对独立，设置有单独的出入口，与周围非辐射工作场所有明显的分界隔离。本项目不毗邻产科、儿科、食堂等部门；本项目避开了人群较集中的门诊大楼、收费处等人群稠密区域。综上所述，本项目符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求，本项目选址合理。

10.1.2 项目布局

本次核技术利用项目位于新建核医学楼一层，核医学工作场所位于新建核医学楼的一层北侧区域，属于丙级非密封放射性物质工作场所，其周围 50m 范围内楼上为二层办公区及相关辅助用房，楼下为土层，核医学工作场所内设置患者注射室、放废间、分装室、源库、缓冲间、淋浴间、更衣室、控制室、PET-CT 机房、注射后候诊室、留观室、抢救室等相关功能用房。项目设置独立的患者走廊以及医护走廊，配置了五套排风系统和独立的放射性废液收集处理系统。核医学一层平面布置图见下图。



图 10.1 核医学工作场所平面布置图

10.1.3 人流和物流的路径规划

为了减少交叉沾污，分别设置了医生通道和病人通道，医生出入口、病人入口、病人出口。丙级非密封放射性物质工作场所人流物流布置图见下图。

(1) 医护人员路径

①医师、技师：医师和技师由核医学楼一层东南角和一层南侧大厅走廊进入注射前候诊大厅、办公区、诊室、检测室等，医生由东侧医护走廊后进入核医学工作场所，可进入分装室、PET-CT控制室，最后沿原路离开核医学工作场所。

②护师：进入分装室的护师由核医学楼东侧医护走廊进入核医学工作场所，经更衣室、缓冲间进入分装室，由分装室出来后经缓冲间检测合格后进入更衣室，最后沿原路离开核医学工作场所。

(2) 患者路径

^{18}F 患者在核医学楼注射前候诊大厅接受问诊登记，根据叫号通过病人入口（单向门）进入核医学工作场所患者走廊，患者走廊设置单向门禁系统。患者具体路径如下：

^{18}F 患者---患者注射室---注射候诊室---PET-CT 机房--PET-CT 留观--卫生通过间--北侧单向门出核医学。

(3) 药物路径： ^{18}F 药物由东南侧注射前候诊大厅门进入后经过患者通道进入注射室，再经注射室进入分装室通风橱内。

(4) 放射性固废运出路径：放射性废物在放废间的废物桶内集中储存，放射性废物由放废间经患者通道走廊至北侧单向门运出核医学。

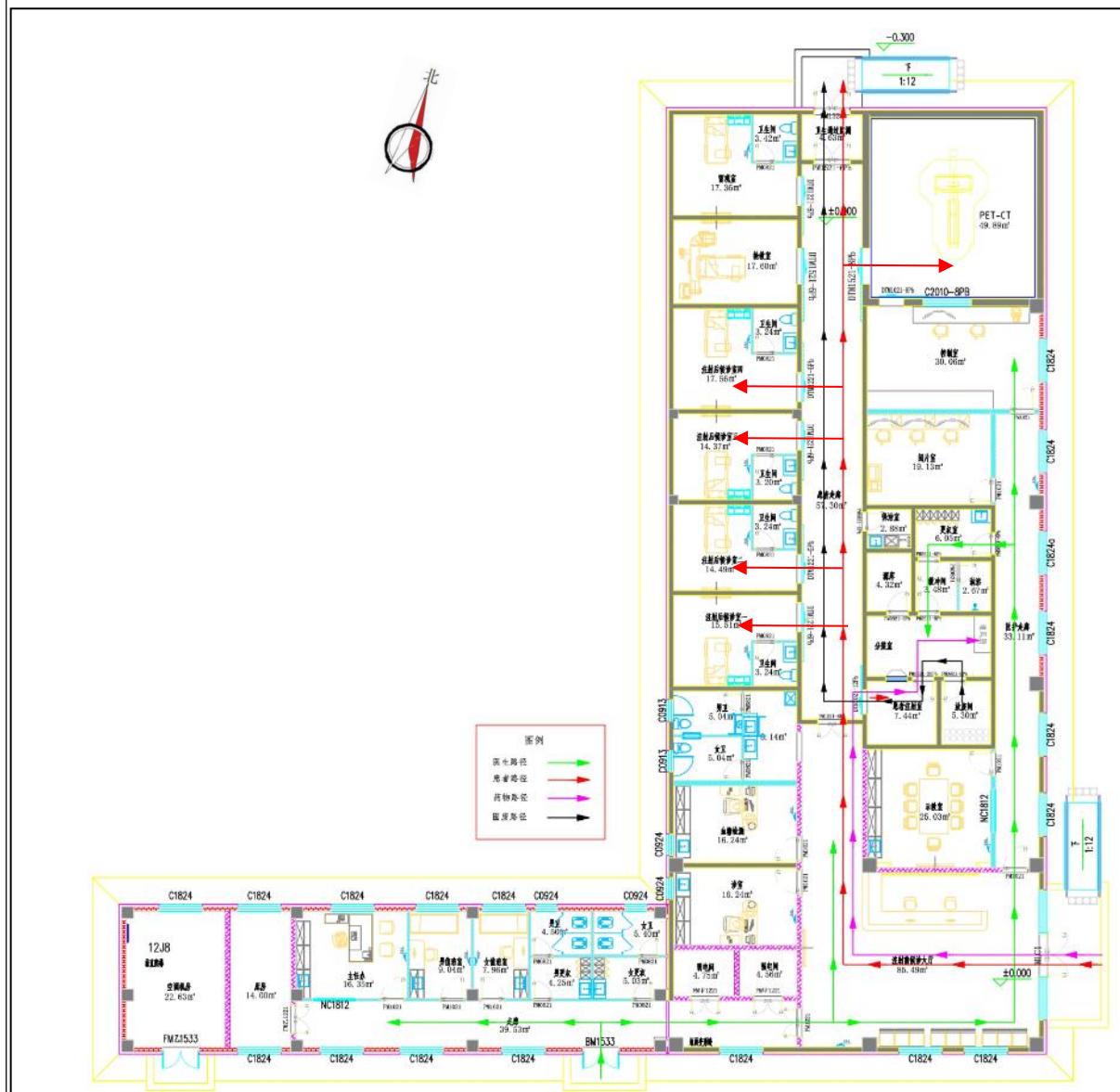


图 10.2 核医学工作场所人流物流路径规划图

由上图可知，本项目医生路径、患者路径、药物配送路及放射性固废路径整体规划较好，能满足实际工作中的辐射防护需要。

10.1.4 辐射屏蔽及相邻场所情况

核医学各相关场所屏蔽情况见下表。

表 10.2 核医学工作场所各相关场所屏蔽情况

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
1	患者注射室 (7.44m ²)	东	放废间	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+3mmPb)
		南	示教室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		西	患者走廊、其他人员走廊	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		北	分装室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+3mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	二层办公室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm (等效于混凝土 200mm+6mmPb)
		西侧患者走廊 防护门	患者走廊	12mm 铅门
		北侧分装室 防护门	分装室	20mm 铅门
2	放废间 (5.30m ²)	东	医疗走廊	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 50mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅废物桶 (等效于混凝土 200mm+26mmPb)
		南	示教室	混凝土 200mm+硫酸钡 30mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅废物桶 (等效于混凝土 200mm+24mmPb)
		西	患者注射室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅废物桶 (等效于混凝土 200mm+23mmPb)
		北	分装室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅废物桶 (等效于混凝土 200mm+23mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	二层办公楼	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm+20mm 铅废物桶 (等效于混凝土 200mm+26mmPb)
		北侧防护门	分装室	8mm 铅门+20mm 铅废物桶

续表 10.2 核医学工作场所各相关场所屏蔽情况

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
3	分装室 (12.75m ²)	东	医护走廊	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 50mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套 (等效于混凝土 200mm+41mmPb)
		南	患者注射室、放废间	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套 (等效于混凝土 200mm+38mmPb)
		西	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套 (等效于混凝土 200mm+39mmPb)
		北	源库、缓冲间、淋浴间	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套 (等效于混凝土 200mm+38mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	二层办公室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套 (等效于混凝土 200mm+41mmPb)
		北侧源库防护门	源库	8mm 铅门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套
		北侧缓冲间防护门	缓冲间	8mm 铅门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套
		南侧注射窗	患者注射室	70mm 铅防护窗+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套
		南侧患者注射室防护门	患者注射室	20mm 铅门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套
3	分装室通风橱	南侧放废间防护门	放废间	8mm 铅门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套
		东	医护走廊	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 50mm+硫酸钡板 15mm+60mm 厚铅 (等效于混凝土 200mm+66mmPb)
		南	分装室	60mm 厚铅
		西	分装室	60mm 厚铅
		北	淋浴间	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+60mm 厚铅 (等效于混凝土 200mm+63mmPb)
		地板	土层	/
		顶部	二层办公室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm+60mm 厚铅 (等效于混凝土 200mm+66mmPb)

续表 10.3 核医学工作场所各相关场所屏蔽情况

4	源库 (7.8m ²)	东	更衣室、缓冲间	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		南	分装室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+6mmPb)
		西	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		北	保洁室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	会议室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm (等效于混凝土 200mm+6mmPb)
		南侧分装室防护门	分装室	8mm 铅门
5	PET 机房 (49.89m ²)	东	户外	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 300mm+5mmPb)
		南	控制室	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 300mm+5mmPb)
		西	卫生通过间	混凝土 300mm+硫酸钡 20mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 300mm+3mmPb)
		北	户外	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 300mm+5mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	办公室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm (等效于混凝土 300mm+6mmPb)
		西侧患者走廊防护门	患者走廊	8mm 铅门
		南侧控制室防护门	控制室	8mm 铅门
		南侧控制台控制窗	控制室	8mm 铅窗
6	卫生通过间(4.63m ²)	东	PET-CT 机房	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 300mm+3mmPb)
		南	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡板 15mm (等效于混凝土 200mm+1mmPb)
		西	留观室	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm (等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		北	楼梯间	混凝土 200mm、普通防护门
		地板	土层	/
		顶板	走廊、更衣室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm (等效于混凝土 200mm+6mmPb)
		南侧防护门	患者走廊	6mm 铅门

续表 10.2 核医学工作场所各相关场所屏蔽情况

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
7	留观室 (17.36m ²)	东	卫生通过间、患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		南	抢救室	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		西	户外	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm(等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		北	户外	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm(等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	走廊、更衣室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm(等效于混凝土 200mm+6mmPb)
		东侧患者走廊 防护门	患者走廊	6mm 铅门
8	抢救室 (17.6m ²)	东	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		南	注射候诊室四	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		西	户外	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm(等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		北	留观室	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	二层更衣室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm(等效于混凝土 200mm+6mmPb)
		东侧防护门	患者走廊	6mm 铅门
9	注射后候诊室四 (17.56m ²)	东	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		南	候诊室三	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		西	户外	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm(等效于混凝土 200mm+4mmPb)
		北	抢救室	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)
		地板	土层	/
		顶板	办公室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm(等效于混凝土 200mm+6mmPb)
		东侧候诊防护门	患者走廊	6mm 铅门

续表 10.2 核医学工作场所各相关场所屏蔽情况

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度	
10	注射后候诊室三 (14.37m ²)	东	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		南	候诊室二	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		西	户外	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm(等效于混凝土 200mm+4mmPb)	
		北	注射候诊室四	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		地板	土层	/	
		顶板	办公室	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm(等效于混凝土 200mm+6mmPb)	
		东侧候诊防护门	患者走廊	6mm 铅门	
11	注射后候诊室二 (14.49m ²)	东	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		南	候诊室一	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		西	户外	混凝土 200mm+硫酸钡 30mm+硫酸钡板 15mm(等效于混凝土 200mm+4mmPb)	
		北	注射候诊室三	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		地板	土层	/	
		顶板	空调机房	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm(等效于混凝土 200mm+6mmPb)	
		东侧候诊防护门	患者走廊	6mm 铅门	
12	注射后候诊室一 (15.51m ²)	东	患者走廊	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		南	男卫	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		西	户外	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm(等效于混凝土 200mm+4mmPb)	
		北	候诊室二	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm(等效于混凝土 200mm+2mmPb)	
		地板	土层	/	
		顶板	空调机房	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm(等效于混凝土 200mm+6mmPb)	
		东侧候诊防护门	患者走廊	6mm 铅门	
备注：根据设计单位提供相关资料，对于本项目的防护设计情况，硫酸钡密度为 3.2g/m ³ ，1mm 铅当量的防护约为 10mm 厚硫酸钡水泥；1mm 铅当量约为 15mm 厚硫酸钡板。					
10.1.5 通风设施					
根据医院提供的设计资料，核医学工作场所内设有独立的通风换气系统，保证工作场所内的通风良好。					
送风系统：设有 1 组送风系统，由核医学楼西南侧新风机房通过送风管道输送新风到核医学工作场所内各个功能室内。					

排风系统：设计有机械排风系统，由 5 组独立排风管道组成。

第 1 组排风管道由南向北连接着注射候诊室 1、注射候诊室 2、注射候诊室 3、注射候诊室 4、抢救室、留观室，排风管道经卫生通过间排风井引至新建核医学楼顶层 5 号排风总管，经高效活性炭过滤装置过滤后排放。排风系统换气次数为 5AC/h，排风量为 500m³/h。

第 2 组排风管道为 PET-CT 机房设置独立通风系统，由机房引出后经卫生通过间排风井引至新建核医学楼顶层 4 号排风总管，经高效活性炭过滤装置过滤后排放。排风系统换气次数为 12AC/h，排风量为 2400m³/h。

第 3 组排风管道由南向北连接着患者注射室、患者走廊、保洁室、卫生通过间，排风管道经卫生通过间排风井引至新建核医学楼顶层 1 号排风总管，经高效活性炭过滤装置过滤后排放。排风系统换气次数为 5AC/h，排风量为 1200m³/h。

第 4 组排风管道为分装室通风橱设置独立通风系统，通风橱装有排风装置（排气风速应不小于 0.5m/s），经过通风橱引出后由南往北排风管道经过源库北侧排风井引至新建核医学楼顶层 3 号排风总管，经高效活性炭过滤装置过滤后排放。排风系统换气次数为 25AC/h，排风量为 1000m³/h。

第 5 组排风管道分别连接着医生更衣室、缓冲间、淋浴间、放废间、分装室、源库，排风管道经过源库北侧排风井引至新建核医学楼顶层 2 号排风总管，经高效活性炭过滤装置过滤后排放。排风系统换气次数为 12AC/h，排风量为 1000m³/h。

每组排风支管均安装止回阀，不存在回流现象，每一组排风管道在新建核医学楼顶层设置一套高效活性炭过滤装置，共设置五套高效活性炭过滤装置，核医学楼顶层各排风口高于本建筑屋顶 1m。

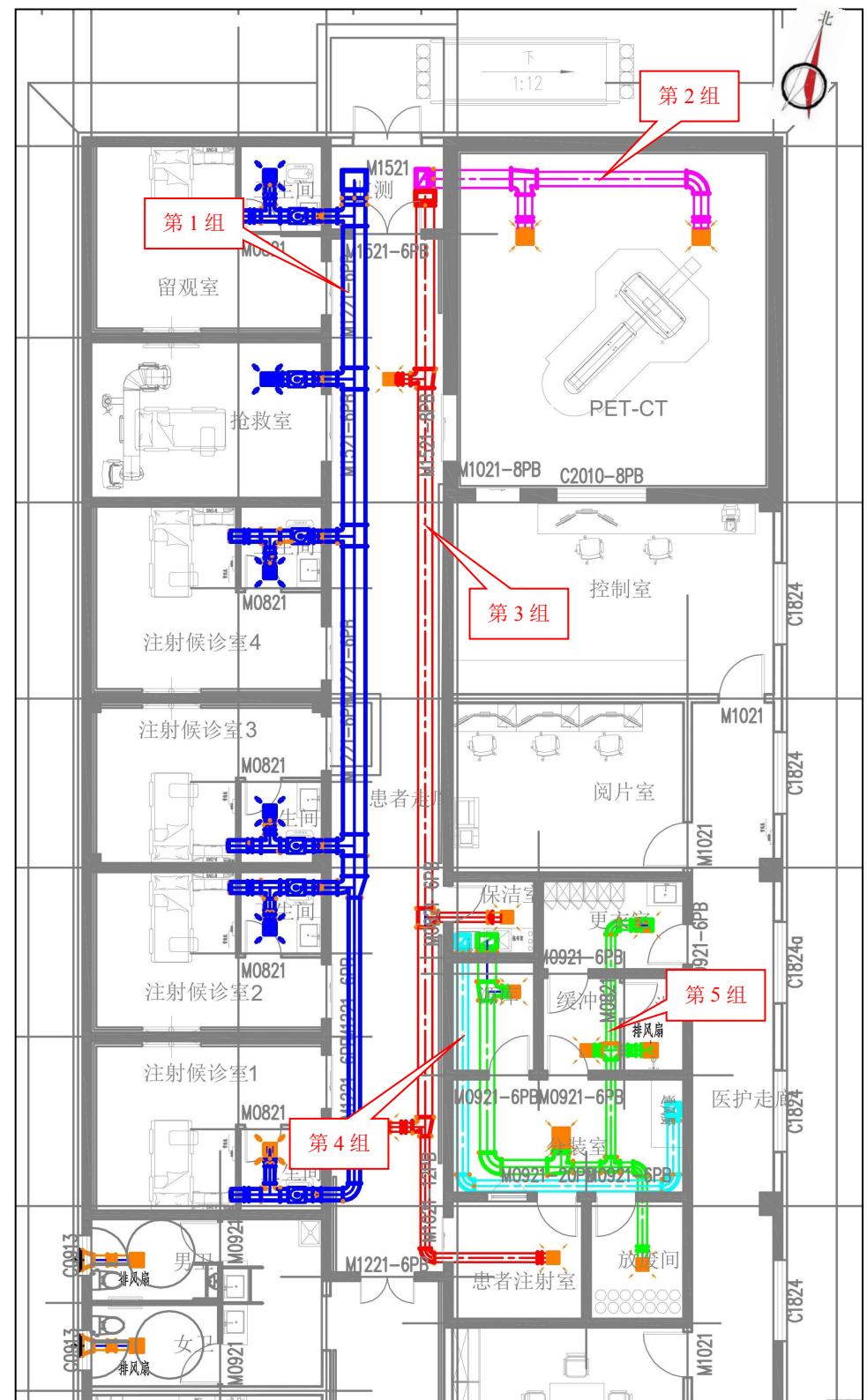


图 10.3-1 核医学工作场所排风系统图

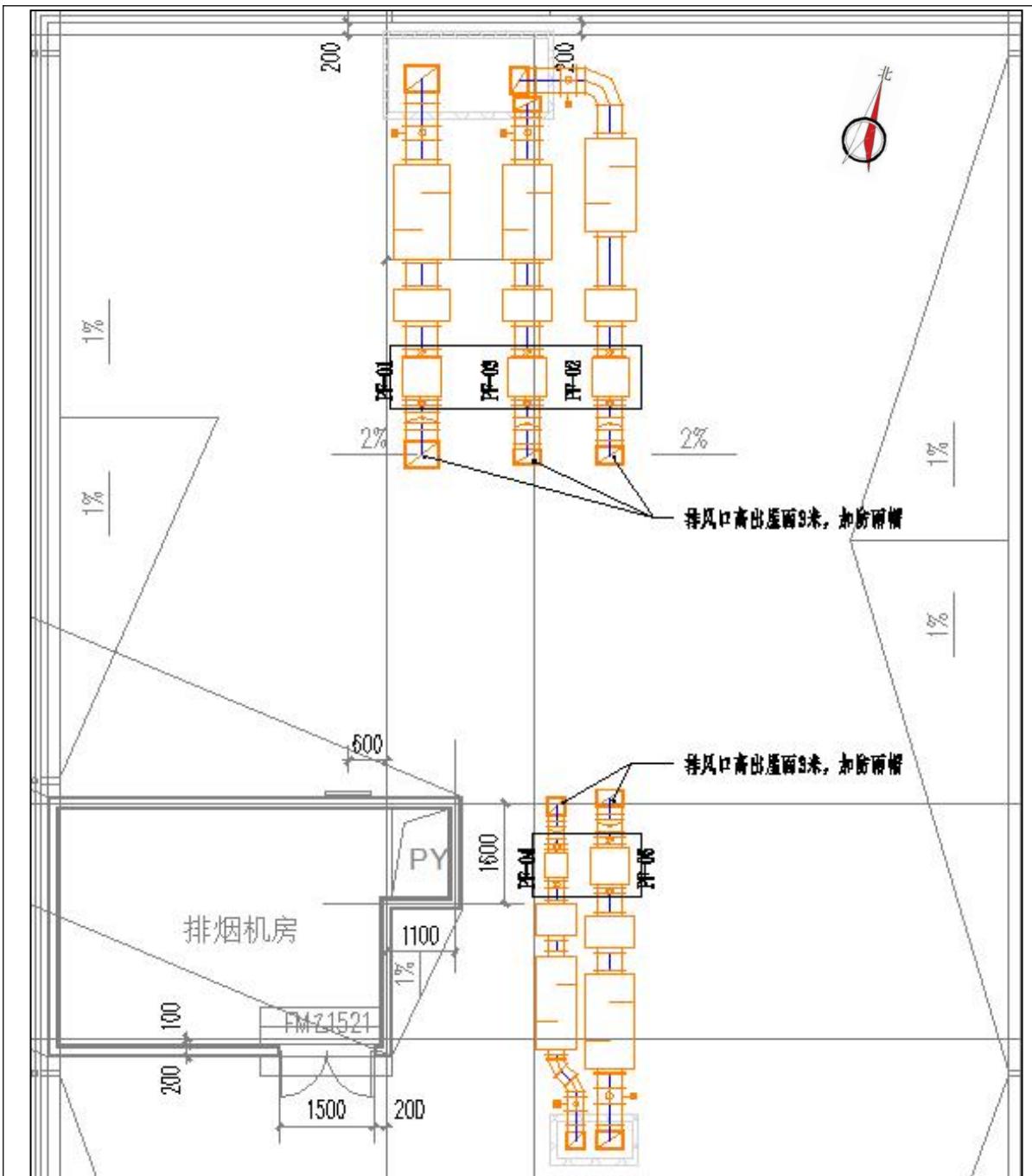


图 10.3-2 核医学工作场所排风系统图

10.1.6 排水设施

根据医院提供的设计资料，核医学工作场所各相应房间（淋浴间、保洁室、候诊室 1、候诊室 2、候诊室 3、候诊室 4、抢救室、留观室）设置下水设施，放射性废液经专用管道到专用放射性污水处理系统（衰变池）进行衰变，经过衰变池衰变后接入医院排水管网。根据排水管道设计，各功能室放射性废液排水管汇集到排水总管后沿候诊室地下管沟由南向北穿过核医学楼后进入衰变池。放射性废液管道全部位于核医学楼一层地下管沟，不外漏管道。室内的放射性废液管道敷设在地面下 1100mm 深的管沟内，管沟用 100mm 钢筋混凝土盖板覆盖。且排水管设计采用 3mm 铅皮包裹或

具备同等铅当量的铸铁管道。排水管道考虑到患者一次排出废液核素的总活度仅为服药量的一小部分，排出废液中的少量核素因受到马桶/便池的冲洗稀释，短时间流经某一固定区域时，废液中的放射性经过防护设计铅当量屏蔽后，对管道上方固定关注点的辐射剂量影响更低，管道沿线可能涉及人员为医护人员和患者，因此核医学工作场所排水管道对周围人员影响可以忽略不计。核医科放射性废液排放流向示意图见附图 9-1 和附图 9-2。

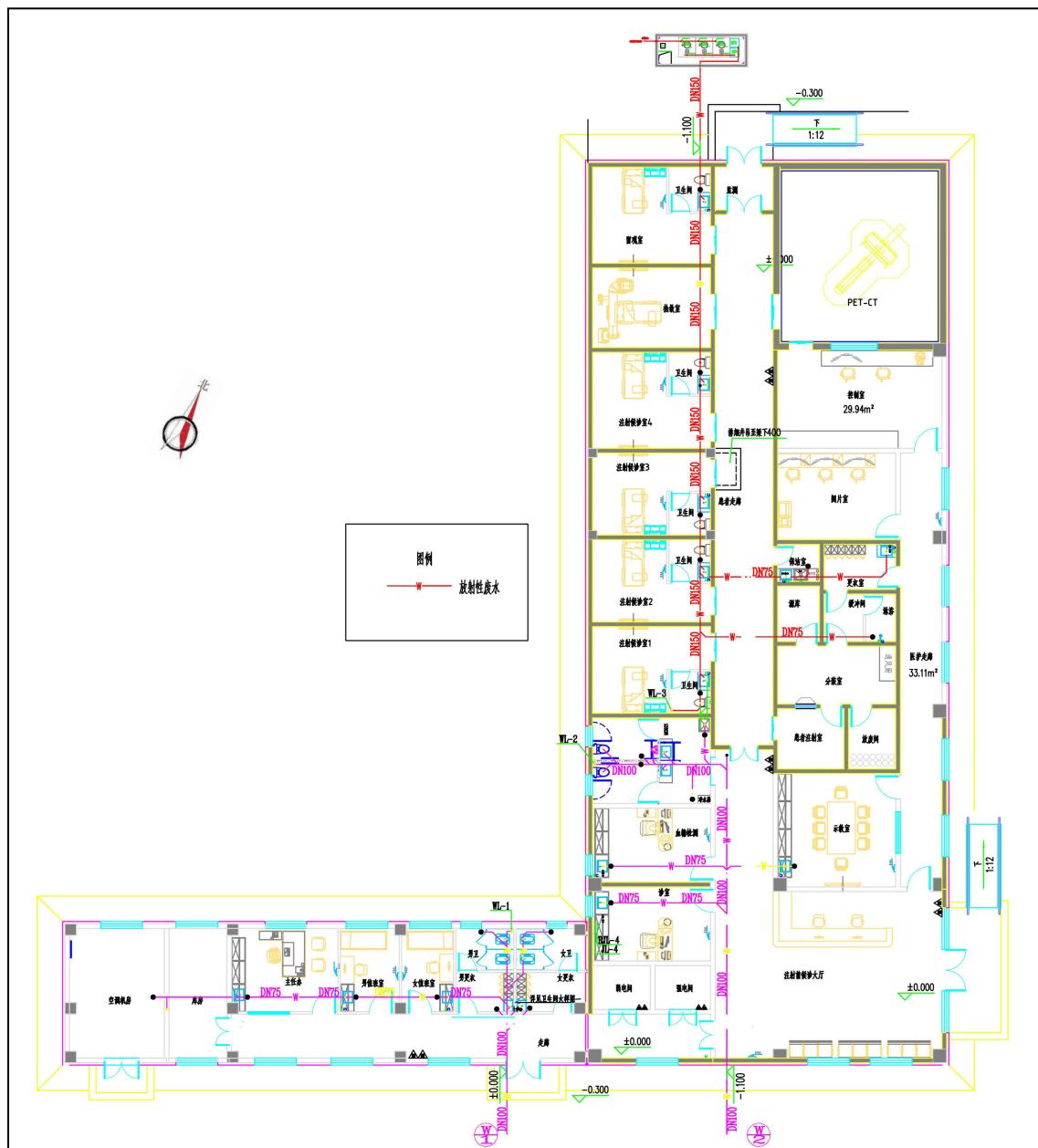


图 10.4 核医学放射性废液排放流向示意图

医院拟建设二个沉淀池和三个衰变池用于收集放射性废液，采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。衰变池组单个衰变池容积为 9.37m^3 ，衰变池总容积为 28.1m^3 。衰变池组池底和池壁均为 300mm 混凝土，并采取防渗防腐措施。

衰变池具体工作原理为：核医学工作场所产生的放射性废液汇入沉淀池后，沉淀池达到一定水量后，由自动控制系统控制将沉淀池中的废液抽排至1#衰变池，1#衰变池满后阀门自动关闭。汇入沉淀池的水量再次达到水量后，在自动控制系统的控制下，废液抽排入2#衰变池，2#衰变池满后阀门自动关闭，同理排至3#衰变池，衰变池均满后，完成一个循环。1#衰变池达到其衰变周期经检验合格后，通过潜水泵将衰变完成的废液排入医院污水管网，依次轮流操作，当1#沉淀池中的沉淀物接近容积时通过电动阀关闭进水口开启2#进水口进入2#沉淀池，待沉淀物达到衰变周期后通过反冲洗管道对沉淀物进行冲洗后直接进入医院污水管网，衰变池平/剖面示意图见下图。

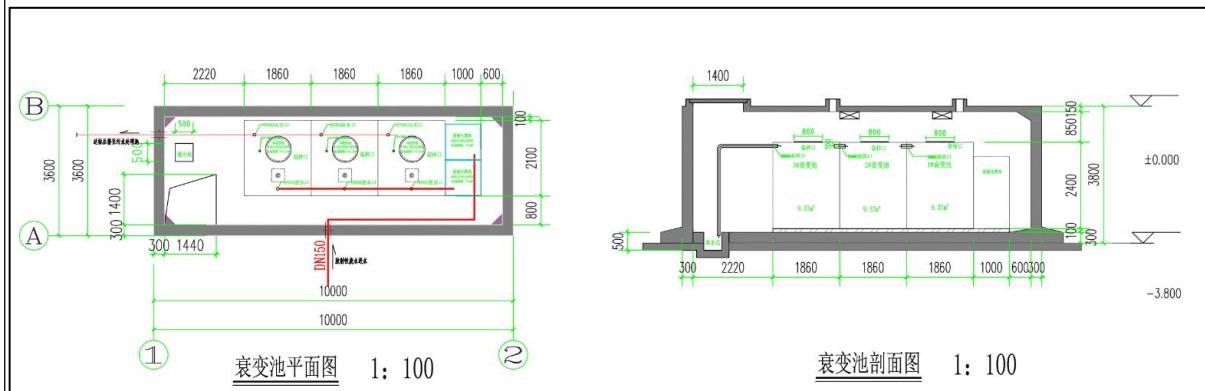


图 10.5 衰变池平面示意图

图 10.6 衰变池剖面示意图

10.1.7 丙级非密封放射性物质工作场所的污染防治措施

10.1.7.1 场所安全措施

- (1) 电离辐射警示标识：拟在核医学工作场所入口（医生通道、患者通道）处、患者通道出口处、PET-CT机房、通风橱、废物桶等位置设置电离辐射警示标志、标识和说明，患者走廊、医护通道以及各功能房间外侧设置地面指引标志标识。
- (2) PET-CT机房设置门灯联锁装置、电离辐射警示标志，控制室设置观察窗和语音对讲系统；PET-CT机房病人防护门外、病人走廊、注射前候诊室等处均拟设置监控摄像头。
- (3) 在核医学工作场所内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。
- (4) 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁应采用易去污防渗的材料，地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。操作后及时对工作台、设施、地面等进行表面污染检查和去污工作。
- (5) 各功能场所的保洁用品不得重复使用，也不得相互交叉使用。
- (6) 加强对未注射药物病人的管理，避免与注射药物的病人发生交叉接触。
- (7) ¹⁸F药物

①购买的放射性药物直接贮存至分装室通风橱内，放射性物质应及时登记建档，每天购买的放射性物质使用情况应进行登记，并专人负责，使用记录要详细、清晰。外购药物要和病人就诊时间进行错时错峰。

②场所应采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏的措施，应安装 24 小时摄像监控及防盗报警装置。

③通风橱采用 60mmPb 进行屏蔽防护，放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次提取放射性物质应只限于需用的部分。不再使用的放射性物质，根据需要进行合理处置。

④放射性物质贮存场所应定期进行放射防护监测，并记录存档。

⑤对未用完已没有医用价值的其他放射性药品（统称为废液），医院要严格控制其产生，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则，预定放射性药品。

⑥辐射工作人员操作放射性核素时，尽可能保持固定或移动的屏蔽状态，并正确穿戴好个人防护用品，不允许用裸露的手直接接触药品。

（8）场所分区标识

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，医院拟将核医学辐射工作场所划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，将核医学楼一层区域内的放废间、患者注射室、分装室、源库、保洁室、PET-CT 机房、患者走廊、卫生通过间、留观室、抢救室、注射后候诊室划分为控制区，控制室、医生更衣室、缓冲间、淋浴室划分为监督区，其余区域为洁净区域。防护分区见附图 6-1 和附图 6-2。

（9）具体分区管理措施如下：

①严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全，患者也不应随便离开该区。患者走廊以及卫生通过间等设置单向门禁系统。

②控制区用红色警示线划分，并给出相应的人员流动导向指示。

③配备 1 台便携式辐射剂量监测仪及 1 台表面沾污监测仪，分装室的工作人员经检测合格后才能离开该区域。

④定期审查控制区的实际状况，以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施或该区的边界。

⑤在控制区去除任何物品均应进行表面污染水平检测，不超标方可带出控制区。

⑥在监督区入口处的适当位置设立表明监督区的标牌，定期检查监督区的辐射剂量，监督区采用黄色警示线划分。

（10）衰变池划为控制区，衰变池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的

防泄漏措施。衰变池的排放口预留废液取样口，并在排放口设置标志牌，采用红色警戒线划分。

(11) 放射性三废实行专人管理，建立台账，记录监测结果和排放时间并存档备案。

10.1.7.2 联锁装置

1、根据医院提供的资料，PET-CT 检查室拟安装门灯联锁装置。

2、PET-CT 控制台有防止非工作人员操作的锁定开关，钥匙由辐射操作人员携带保管，换班、检修时检查钥匙交接情况，防止非工作人员误操作。

10.1.7.3 视频监控及对讲系统

根据医院提供的资料及设计图, PET-CT 检查室病人防护门外、病人走廊、注射前候诊室等处均拟设置监控摄像头及音箱, 对患者活动情况进行实时监控, 防止患者误入、人员滞留等情况发生。注射后候诊室及留观室等安装语音通话系统(电话、音箱), 用于应急对外通讯。



图 10.7 核医学工作场所辐射防护分区示意图

10.1.7.4 安全防护设施

核医学工作场所拟配备防护设备具体见下表所示。

表 10.3 核医学工作场所防护设备

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	通风橱	分装室（用于 ¹⁸ F 分装）	1 套	60mmPb
2	注射室窗	患者注射室	1 套	70mmPb
3	放射性废物存放桶	放废间	1 个	20mmPb
4	废物桶	分装室、4 间候诊室、留观室、抢救室各 1 个	7 个	20mmPb
5	注射器防护套	分装室	2 个	15mmPb
6	药物转运屏蔽盒	分装室	2 个	20mmPb
7	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等	/	2 套	0.5mmPb
8	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/
9	便携式辐射剂量监测仪	/	1 台	/
10	表面沾污监测仪	/	2 台	/
11	活度计	/	1 个	/
12	个人剂量报警仪	/	5 个	/
13	除污工具套	/	1 套	/
14	热释光个人剂量计	/	每人配备	/

10.1.7.5 应急物资

- (1) 配备去污用品和试剂，且控制区、监督区的洗刷用品应分别配备、分别使用。
- (2) 配置应急处理工具。
- (3) 配置必备的警示标志和标志线。
- (4) 配置合适的灭火器材。
- (5) 配置放射性药物应急包装容器。

10.2 三废的治理

10.2.1 固体废物的治理

1、放射性固体废物主要有：

- (1) 病人注射使用后产生的废注射器、棉棒、一次性手套等（含核素¹⁸F）。
- (2) 废旧过滤材料及失效过滤器等（含核素¹⁸F）。

2、放射性固体废物治理措施：

- (1) 在废物间放置放射废物储存桶，放射废物储存桶应具有外防护层和电离辐射标志。放射废物储存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。
- (2) 依据废物的形态、可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物。
- (3) 对注射器和破碎的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中。
- (4) 将放射性固体废物集中贮存在废物间的放射废物储存桶内，废物贮存超过 30 天且经检测达标，其活度低于标准要求，可作为普通医疗废物处理。
- (5) 放射性废物每袋不超过 20kg。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 发射体应小于 4Bq/cm^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。

10.2.2 废气的治理

由污染源分析可知，本次核医学工作场所使用的放射性同位素为非挥发性核素，经排气管道设置的过滤装置过滤后放射性气体污染极低，对周围环境辐射影响很小。根据医院提供的本项目设计资料，废气排放系统均在排风口前设置过滤装置，均设置活性炭过滤器，过滤材料为活性炭，过滤效率 90%以上。且本项目废气排放口设置在本建筑楼顶，避开了周围高层建筑，不会对周围环境造成明显影响。

10.2.3 废液的治理

由污染源分析可知，放射性废液主要来自核医学工作场所显像检查患者注射后候诊及留观期间产生的放射性废水，辐射工作人员淋浴洗手及核医学场所清洁产生的放射性废水，由专用屏蔽管道排入衰变池中。由于放射性废液的产生量及浓度存在波动性，因此为了确保安全，衰变池出水管道上留有取样管，排放前须超过 30 天的暂存期再排入医院废水处理站，严禁将废液稀释后排放。

发生事故时，排入下水管网的核素活度应满足一次排放活度不超过 $2.15 \times 10^8\text{Bq}$ 的要求，每月排入下水管网的核素活度应满足月排放活度不超过 $2.15 \times 10^9\text{Bq}$ 的要求。

综上，医院核医学工作场所设置有独立的放射性废液排放系统，所有衰变池进水管道用 3mm 铅皮包裹，衰变池排气管外包裹 3mmPb 铅皮，放射性废液经衰变池处理后排入医院污水管网。经采取上述辐射防护措施后，本项目产生放射性废液能够得到有效处理，达标排放，对环境辐射影响很小。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

建设期主要是非放射性影响，主要体现在：

- (1) 废气：施工建设过程中，以及运输原材料和现场堆存等产生的扬尘。
- (2) 废液：主要为施工人员的生活污水。
- (3) 固体废物：施工过程中产生的建筑垃圾、材料边角料、废弃材料。
- (4) 噪声：施工过程中使用施工设备等产生的噪声。

11.1.1 废气

施工期大气污染物主要来源于施工建设过程中土方开挖等产生的施工扬尘。施工期扬尘采取如下防治措施：

- (1) 施工过程中使用水泥、石灰、砂石、铺装材料等易产生扬尘的建筑材料，应采取防尘布苫盖。施工现场及时采取洒水抑尘措施。
- (2) 施工过程中产生的弃料及其他建筑垃圾，应及时清运。

11.1.2 废水

施工过程产生的废水主要为施工人员生活污水，施工人员生活污水排入医院污水管网。

11.1.3 固体废物

施工过程产生的固体废物：主要为建筑垃圾和生活垃圾，包括施工产生的弃渣、损坏或废弃的各类建筑装修材料、废弃的混凝土、水泥和砂浆等，建筑垃圾应定点存放集中处置。

要求项目将施工过程中产生的建筑垃圾不得随意倾倒，由环卫部门统一处置。

11.1.4 噪声

施工噪声主要来自施工过程不同作业的机械产生的噪声和振动。

施工期声环境污染防治措施：施工现场合理布局，在施工过程中要合理安排施工时间，晚 7:00~次日早 6:00 严禁高噪声设备施工。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放射性废液环境影响分析

1、放射性液体废物的产生

放射性废液主要来自核医学显像检查患者注射后候诊及留观期间产生的放射性废水，辐射工作人员淋浴洗手及核医学场所清洁产生的放射性废水。

2、核医学工作场所放射性废液排水量估算

本项目医护人员设置 5 人，其中 2 人为医师，2 人为技师，1 人为护师，工作制为一班/天，因此只有 1 人位于分装和注射室内，参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），医务人员平均日生活用水定额取 70L/人/班，根据本项目核医学工作场所的设计情况，医护人员只有清洗污水会通过管道进入废液衰变池，因此根据实际情况考虑医护人员清洗污水取标准的 50% 值，故采用 35L/人/班。医务人员应急淋浴用水一次用水定额参考取值为 60L/人次，考虑本项目核医学工作场所可能发生放射性药物身体沾污的情况，按每周平均使用应急淋浴 1 次，每月使用 4 次计算。

核医学工作场所门诊病人每天最多 10 人，门诊病人进入核医学工作场所控制区内注射后等待及扫描诊断时间约为 1 小时，考虑卫生间冲厕用水 1 次，用水量为 6L/人/天。病人洗手池清洗用水，用水量为 1.5L/人次，每人洗手次数按最多 2 次计算。

核医学工作场所用水、排水量见下表。

表 11.1 核医学工作场所用水、放射性废液排水量汇总表

用水类别	用水定额	用水规模	用水量(m ³ /月)	排水量(m ³ /月)	去向
医护人员清洗废水	35L/人/d	1 人	0.77	0.69	衰变池 处理后 再经医 院的污 排水管 网后进 入医院 污水处 理设施
医护人员应急淋浴用水	60L/人次	1 人	0.24	0.22	
门诊病人冲厕水	6L/人/d	10 人	1.32	1.19	
门诊病人清洗水	3L/人/d	10 人	0.66	0.60	
控制区地面清洗	2L/50m ² /d	约 320m ²	0.28	0.25	
未预见水量按以上水量的 10% 计			0.33	0.30	
总计			3.60	3.25	

备注：①医护人员只有 1 人位于分装和注射室内，因此按照 1 人进行核算，排水量按用水量的 90% 计算；②除应急淋浴用水外，每月按 22 个工作日计算；应急淋浴用水按每周使用 1 次，每月使用 4 次计算。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）等规定，低放射性废液应经衰变池处理，衰变池应合理布局，池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。本项目衰变池防渗等级为 P6。

3、放射性废液处理可行性

根据设计资料，本项目由二个沉淀池和三个衰变池组成，采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。衰变池组单个衰变池容积为 9.37m³，衰变池总容积为 28.1m³。核医学工作场所产生的放射性废液汇入沉淀池后，沉淀池达到一定水量要求后，由自动控制系统控制将沉淀池中的废液抽排至 1# 衰变池，1# 衰变池满后阀门自动关闭。汇入沉淀池的水量再次达到水量后，在自动控制系统的控制

下，废液抽排入2#衰变池，2#衰变池满后阀门自动关闭，同理排至3#衰变池，衰变池均满后，完成一个循环。1#衰变池达到其衰变周期后，经潜水泵将衰变完成的废液排入医院污水管网。由表11.1计算结果可知，本项目每月产生的放射性废液最大量约为3.25m³，故本项目设置的三个槽式衰变池（总容量约为28.1m³）能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中半衰期小于24个小时的放射性废液暂存30天的要求。

本项目在每个衰变池上方设置了取样口，医院应根据开展诊断工作后病人的数量，衰变池放射性废液衰变超过30天的暂存期可进行排放。事故工况下委托有资质的单位采样衰变池的废液进行监测，根据排水量计算排入下水管网的核素活度应满足一次排放活度不超过 2.15×10^8 Bq的要求，每月排入下水管网的核素活度应满足月排放活度不超过 2.15×10^9 Bq的要求。监测频次（1次/每次事故）。衰变池池壁及池顶为300mm混凝土，池底300mm混凝土，衰变池废液进水管全部位于地下管沟，设置等效3mmPb当量防护，放射性废液对环境辐射影响很小。本次新增核医学工作场所在落实了本报告提出的衰变池应具备的技术要求和管理要求，严格控制排入衰变池的废液量，废液的排放符合《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）总β<10Bq/L的排放要求。

11.2.2 放射性固体废物环境影响分析

1、放射性固体废物的产生

由污染源分析可知，放射性固体废物主要包括一次性注射器、操作手套、口罩、棉签、试纸及擦拭废物等；排风系统产生的废旧过滤材料及失效过滤器（每年更换一次）。

表11.2 项目放射性固体废物的年产生量估算表

固体废物产生来源	涉及核素	产生量(g/d/人)	日最大病人数(人)	日产生量(kg/d)	年最大诊疗人数(人)	年产生量(kg/a)
一次性注射器、手套、口罩以及擦拭废物、试纸等	¹⁸ F	20	10	0.2	2500	50
废旧过滤材料及失效过滤器	¹⁸ F	/	/	/		20

2、放射性固体废物的收集

收集固体废物时应采取如下措施：

- (1) 严格区分放射性及非放射性废物，不可混合处理，放射性废物应单独存放。
- (2) 在分装室、注射后候诊室、留观室、抢救室、放废间分别放置放射性废物桶，按照规定将放射性废物置于放射性废物桶内，再将放射性废物桶内的固体废物连同垃圾袋存放到废物间，每次收集时贴上标签，标明最后一天的收集时间。

3、放射性固体废物处理可行性

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）半衰期小于24小时的放射性固体废物应在废物间衰变超过30天。要求每袋废物质量不超过20kg，表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染控制水平 $\beta < 4.0 \text{Bq/cm}^2$ 。项目使用的放射性药物固体废物满足衰变超过30天且检测满足要求即可作为普通医疗废物进行处理。

项目设置5.30m²放废间，用于暂存放射性固体废弃物，项目每日产生固体废弃物约0.2kg，每个月约产生4.2kg，考虑废物周转及固体废物体积，废物间能够满足放射性废物衰变超过30天的要求。项目配备了辐射剂量率检测仪及表面污染监测仪，科室可自行开展对固体废弃物的检测，同时做好检测的记录及存档工作。通过衰变暂存或检测满足要求即可作为普通医疗废物进行处理，放射性固体废物不会对环境造成影响。

11.2.3 大气环境影响分析

1、放射性废气的产生

核素使用过程中为不易挥发的液体，可能产生极微量的核素¹⁸F的放射性气体。

2、废气处理可行性

PET-CT机房和分装室内的通风橱设置独立排风系统，控制区其他辐射各功能用室与监督区非辐射功能用室分别设置排风系统，放射性废气均经每套排风系统过滤处理后引至本建筑楼顶进行排放，对大气环境影响很小。

11.2.4 声环境影响分析

本项目噪声主要为空调压缩机、送排风机等设备等运行时产生的噪声，新风系统送风机房安装在一楼西南侧，排风使用的抽排风机安装在新建核医学楼楼顶，所有设备选用低噪声设备，运行期间对周围声环境影响较小。

11.2.5 辐射环境影响分析

11.2.5.1 γ 射线辐射剂量率及屏蔽分析

1、辐射防护屏蔽计算公式（根据GBZ120-2020附录I中I.1导出）

$$D_o = \frac{A \times \Gamma}{R^2} \times 10^{-\frac{\Delta S}{TVL}}$$

式中：D₀—距离R米处的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

R—考察点到 γ 源的距离（m）；

A—源的活度（MBq）；

Γ —照射量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)；

ΔS —屏蔽厚度 (mm)；

TVL—屏蔽材料的十值层厚度 (mm)。

表 11.3 相关参数选取表

核素	周围剂量当量率常数 Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	屏蔽材料的十值层厚度 TVL	
		铅 (mm)	混凝土 (mm)
¹⁸ F	0.143	16.6	176

备注：根据设计提供资料以及项目设计的情况，根据设计情况以及相关说明硫酸钡水泥和硫酸钡板以等效铅当量核算，以铅的十值层厚度 TVL 进行核算

核医学工作场所控制区范围内，除辐射工作人员因扫描诊断需偶尔进入，无受检患者以外的其他人员活动，且受检者均为注射后的患者，本身可视为移动放射源，根据距离屏蔽、防护屏蔽的原则，在对核医学开展剂量分析时，主要考虑核医学控制区边界功能用房对周边关注点的辐射影响。

2、核医学场所屏蔽设计核算及结果

(1) 核医学场所辐射源项分析

核医学场所使用的核素根据病人数量及使用量，屏蔽核算以最大实际操作量进行计算。各房间屏蔽计算核素使用量参数条件见下表。

表 11.4 各房间屏蔽计算核素量参数条件

序号	房间名称	计算参数条件	备注
1	分装室通风橱	¹⁸ F: 100mCi (3.70E+9Bq)	半天最大使用药量考虑时间衰变按照 100mCi/半天进行核算。
2	分装室	¹⁸ F: 10mCi (3.70E+8Bq)	单次注射核素不超过 10mCi。
3	患者注射室	¹⁸ F: 10mCi (3.70E+8Bq)	单次注射核素不超过 10mCi。
4	注射后候诊室	¹⁸ F: 10mCi (3.70E+8Bq)	本项目设置 4 个注射后候诊室，每个候诊室中均为 1 个病人。
5	PET-CT 机房	¹⁸ F: 8mCi (2.96E+8Bq)	1 人注射核素不超过 10mCi，经过约 40min 候诊，核素衰变后约为 8mCi。
6	留观室	¹⁸ F: 7.5mCi (2.78E+8Bq)	1 人注射核素不超过 10mCi，注射后经过约 40min 候诊及 15~20min 扫描检查，核素衰变后约为 7.5mCi。
7	抢救室	¹⁸ F: 7.5mCi (2.78E+8Bq)	每人注射核素不超过 10mCi，每日最多 5 人诊断，废物核素量按 10%计算。
8	放废间	¹⁸ F: 1mCi (3.70E+7Bq)	每人注射核素不超过 10mCi，每日最多 10 人诊断，废物核素量按 1%计算。

(2) 核医学场所工作用房屏蔽厚度核算

本项目涉及 ¹⁸F 非密封放射性物质使用的场所包括分装室通风橱、分装室、患者注射室、注射后候诊室、PET-CT 机房、留观室、抢救室、放废间。本报告对以上场所辐射屏蔽进行核算。本项目从患者在注射室注入药物开始，计算其周围辐射剂量当量率时考虑患者吸收衰减因子，衰减因子取 0.36（引用：中国职业医学 2017 年 10 月第 4 卷第 5 期 Chin Occup Med, October 2017, Vol.44, No. 5）及《核医学放射防护要求》GBZ 120-2020 附录 L。

表 11.5 核医学场所各功能区四周屏蔽体外γ射线辐射剂量率计算结果

房间	部位	屏蔽	计算源强	距离(m)	关注点剂量率(μGy/h)	标准(μGy/h)	是否达标
患者注射室	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 水泥 20mm+硫酸钡板 15mm	10mCi (3.70E +8Bq)	2.14	3.56E-01	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		2.60	2.10E-01	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		1.72	4.80E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 水泥 20mm+硫酸钡板 15mm		1.00	1.63E+00	2.5	是
	西侧患者走廊防护门	12mmpb 防护门		1.72	2.17E+00	2.5	是
	北侧注射窗	70mmpb 防护窗		1.00	2.06E-03	2.5	是
	北侧防护门	20mmpb 防护门		1.00	2.11E+00	2.5	是
	屋顶	混凝土 200mm+硫酸钡 水泥 60mm		4.10	6.40E-02	2.5	是
备注：楼层高 4.8m，患者离地 1.0m 算，顶层 0.3m；根据设计提供资料以及相关说明，表中 10mm 厚硫酸钡水泥以及 15mm 厚硫酸钡板分别相当等效于 1mm 铅当量。按照等效铅当量进行核算。							
放废间	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 50mm+硫酸钡板 15mm+20mmpb 废物桶	1mCi (3.70E +7Bq)	1.26	6.61E-03	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 30mm+硫酸钡板 15mm+20mmpb 废物桶		1.00	1.38E-02	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 20mm+硫酸钡板 15mm+20mmpb 废物桶		1.48	7.26E-03	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡 20mm+硫酸钡板 15mm+20mmpb 废物桶		3.10	1.66E-03	2.5	是
	屋顶	混凝土 200mm+硫酸钡 60mm		4.50	5.18E-04	2.5	是
	北侧防护门	8mmpb 防护门+20mmpb 废物桶		3.10	1.13E-02	2.5	是
	废物桶表面 30cm 处	20mmpb 废物桶		0.4	2.06E+00	2.5	是
	备注：废物桶离地高度按 0.6m。						

续表 11.5 核医学场所各功能区四周屏蔽体外γ射线辐射剂量率计算结果

房间	部位	屏蔽	计算源强	距离(m)	关注点剂量率(μGy/h)	标准(μGy/h)	是否达标
分装室	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 50mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒 +15mm 钨合金防护套	10mCi (3.70E+8Bq)	4.38	6.83E-04	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒 +15mm 钨合金防护套		1.00	1.99E-02	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒 +15mm 钨合金防护套		1.72	5.84E-03	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+20mm 铅转运盒 +15mm 钨合金防护套		3.00	2.21E-03	2.5	是
	屋顶	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm+20mm 铅转运盒 +15mm 钨合金防护套		4.10	7.79E-04	2.5	是
	北侧源库防护门	8mmpb 防护门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套		3.00	1.51E-02	2.5	是
	北侧缓冲间防护门	8mmpb 防护门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套		3.00	1.51E-02	2.5	是
	南侧注射窗	70mmpb 防护窗+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套		1.00	2.50E-05	2.5	是
	南侧注射室防护门	20mmpb 防护门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套		1.00	2.57E-02	2.5	是
	南侧放废间防护门	8mmpb 防护门+20mm 铅转运盒+15mm 钨合金防护套		1.00	1.36E-01	2.5	是
分装室通风橱	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 50mm+硫酸钡板 15mm+60mmpb 防护柜	100mCi (3.70E+9Bq)	0.85	5.66E-03	2.5	是
	通风橱南侧	60mmpb 防护柜		0.85	1.78E-01	2.5	是
	通风橱西侧(操作位)	60mmpb 防护柜		0.65	3.04E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm+60mmpb 防护柜		1.05	5.62E-03	2.5	是
	通风橱顶层	60mmpb 防护柜		1.1	1.06E-01	2.5	是
	屋顶	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm+60mmpb 防护柜		3.9	3.38E-03	2.5	是
备注：通风橱长 1.10m，宽 0.7m，顶层高 2.0m，药物平台及操作位离地高度约 1.2m							

续表 11.5 核医学场所各功能区四周屏蔽体外γ射线辐射剂量率计算结果

房间	部位	屏蔽	计算源强	距离(m)	关注点剂量率(μGy/h)	标准(μGy/h)	是否达标
PET-CT 机房	东墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm	8mCi (2.96E+8Bq)	4.11	1.58E-02	2.5	是
	南墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm		4.29	1.45E-02	2.5	是
	西墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm		3.91	2.31E-02	2.5	是
	北墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm		4.35	1.41E-02	2.5	是
	屋顶	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm		4.10	5.12E-02	2.5	是
	西侧患者走廊防护门	8mmpb 防护门		3.91	5.84E-01	2.5	是
	南侧控制室防护门	8mmpb 防护门		4.29	4.85E-01	2.5	是
	南侧控制台控制窗	8mmpb 防护门		4.29	4.85E-01	2.5	是
留观室	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm	7.5mCi (2.78E+8Bq)	3.80	9.75E-02	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		3.65	1.06E-01	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		2.30	2.02E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		1.50	4.74E-01	2.5	是
	顶板	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm		4.10	4.81E-02	2.5	是
	东侧防护门	6mmpb 防护门		3.80	7.67E-01	2.5	是
抢救室	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm	7.5mCi (2.78E+8Bq)	3.80	9.75E-02	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		2.22	2.86E-01	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		2.30	2.02E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		2.23	2.83E-01	2.5	是
	顶板	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm		4.10	4.81E-02	2.5	是
	东侧防护门	6mmpb 防护门		3.80	7.67E-01	2.5	是
注射后候诊室四	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm	10mCi (3.70E+8Bq)	3.80	1.30E-01	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		3.65	1.41E-01	2.5	是

续表 11.5 核医学场所各功能区四周屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率计算结果

房间	部位	屏蔽	计算源强	距离(m)	关注点剂量率($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	标准($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	是否达标
注射后候诊室四	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm	10mCi (3.70 E+8Bq)	2.30	2.68E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		1.50	8.33E-01	2.5	是
	顶板	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm		4.10	6.40E-02	2.5	是
	东侧防护门	6mmpb 防护门		3.80	1.02E+00	2.5	是
注射后候诊室三	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm	10mCi (3.70 E+8Bq)	3.80	1.30E-01	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		1.50	8.33E-01	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		2.30	2.68E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		3.05	2.01E-01	2.5	是
	顶板	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm		4.10	6.40E-02	2.5	是
	东侧防护门	6mmpb 防护门		3.80	1.02E+00	2.5	是
注射后候诊室二	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm	10mCi (3.70 E+8Bq)	3.80	1.30E-01	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		3.05	2.01E-01	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		2.30	2.68E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		1.50	8.33E-01	2.5	是
	顶板	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm		4.10	6.40E-02	2.5	是
	东侧防护门	6mmpb 防护门		3.80	1.02E+00	2.5	是
注射后候诊室一	东墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm	10mCi (3.70 E+8Bq)	3.80	1.30E-01	2.5	是
	南墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		1.50	8.33E-01	2.5	是
	西墙体	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 30mm+硫酸钡板 15mm		2.30	2.68E-01	2.5	是
	北墙体	混凝土 200mm+硫酸钡板 30mm		3.25	1.77E-01	2.5	是
	顶板	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm		4.10	6.40E-02	2.5	是
	东侧防护门	6mmpb 防护门		3.80	1.02E+00	2.5	是

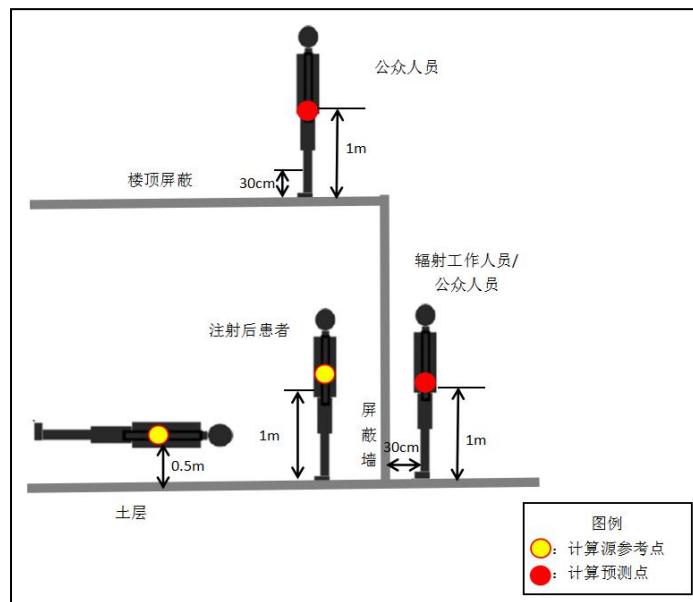


图 11.1 工作场所屏蔽体表面辐射剂量率预测计算点位示意图

(3) 核医学场所屏蔽核算结果

由上表 11.5 计算结果可知，距核医学工作场所控制区内各房间防护门、观察窗、墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均能够满足小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的标准限值要求；分装室内的通风橱、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率均能够满足小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的标准限值要求。

本项目使用的放射性核素 ^{18}F 为短半衰期核素，半衰期为 109.8min，每日最大诊断人数为 10 人，每日放射性固废产生量较少，本项目核医学工作场所控制区内设置 20mm pb 的固体放射性废物收集桶，经估算，本项目放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率为 $2.06\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，能够满足小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的标准限值要求。

本项目放射性废液产生量较少，所有放射性废液衰变管道为直埋方式敷设，室内的放射性废液管道敷设在地面下 1.1m 深的管沟内，管沟用 100mm 钢筋混凝土盖板覆盖。且排水管设计采用 3mm 铅皮包裹或具备同等铅当量的铸铁管道。本项目没有暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液管道，废液衰变管道对环境的辐射影响很小。

11.2.5.2 β 射线影响分析

β 射线在物质中最大射程可由下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} \times E_{\beta \max}$$

式中：d—最大射程，cm； ρ —防护材料的密度， g/cm^3 ； $E_{\beta \max}$ —电子最大能量，MeV。

本项目涉及使用 ^{18}F 非密封放射性核素， ^{18}F 核素产生的 β 射线最大能量为 0.63MeV。各功能用

室四周墙体防护材料为 200mm 以上混凝土以及相应厚度的硫酸钡水泥和硫酸钡板，硫酸钡水泥密度为 3.2g/cm^3 ；混凝土的密度为 2.35g/cm^3 ；防护门窗为 6mmPb 以上铅板或铅玻璃，铅的密度为 11.3g/cm^3 。代入上述公式可知， β 射线在本项目屏蔽体中最大射程均远小于相应屏蔽体厚度，因此本项目使用 ^{18}F 核素的 β 射线对周围环境影响十分轻微，可忽略不计。

11.2.5.3 PET-CT 机环境影响分析

PET-CT 自带 CT 功能，根据《射线装置分类办法》划分为 III 类射线装置，其机房的防护能力对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）进行符合性分析如下表。

表 11.6 III 类射线装置机房防护对照表

场所名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	机房尺寸	标准要求	是否满足要求
PECT-CT 机房 $^{18}\text{F}: 8\text{mCi}$	东墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm	机房内最小有效面积： 49.89 m^2	①应设有单独机房，机房内最小有效使用面积不小于 30m^2 ，机房内最小单边长度不小于 4.5m。 ②CT 机房：有用线束及非有用线束方向铅当量 2.5mmPb 。	满足
	南墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm			
	西墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 20mm+硫酸钡板 15mm			
	北墙体	混凝土 300mm+硫酸钡水泥 40mm+硫酸钡板 15mm			
	顶板	混凝土 200mm+硫酸钡水泥 60mm			
	西侧患者走廊防护门	8mm 铅门			
	南侧控制室防护门	8mm 铅门			
	南侧控制台控制窗	8mm 铅窗			

通过上表可知，PET-CT 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶板、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。因此，可推断 PET-CT 机房周围环境辐射水平能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

本项目 PET-CT 机房采取的屏蔽材料的有效屏蔽厚度均不低于 8mmPb，按照关注点的最近距离估算，CT 运行所致的附加剂量率小于 $0.001\mu\text{Sv/h}$ 。因此 PET-CT 机房因 CT 扫描 X 射线出束对环境的贡献将低于环境背景水平，同 ^{18}F 放射性药物剂量率贡献相比，CT 扫描对机房外的影响贡献可忽略不计。即 PET-CT 机房外的辐射影响累积叠加主要贡献为放射性药物的影响。

11.2.5.4 有效剂量分析

有效剂量估算公式为： $H=D\cdot T\cdot Q\cdot WR\cdot WT$

式中： H—射线所致的有效剂量， Sv；

D—辐射剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

T—受照时间， h；

Q—吸收剂量率转换成有效剂量当量率的转换因子， 取 $1 (\text{Sv}/\text{h}) / (\text{Gy}/\text{h})$ ；

WT—组织权重因数， 偏安全考虑取 1；

WR—辐射权重因数， 取 1。

1、辐射工作人员年附加有效剂量

(1) 药物分装、注射、PET-CT 检查辅助过程时间分析

根据建设单位提供资料，本项目核医学工作制度实行 8 小时工作制，每周工作五天（周一至周五），年工作日以 250 天计。 ^{18}F -FDG 药物每天由外购药物厂家直接送至核医学楼分装室通风橱内。考虑到药物的衰减情况，每天分上午和下午两次购买运送药物，通风橱内单次最大存放药物为 100mCi。

本项目核医学放射性药物的分装在通风橱中进行，分装每人次分装时间按 1min，每天 10min。药物注射时间 1min/人次（含安装针剂铅防护套的时间），每天 10min，分装以及注射工作由 1 名护师完成。机房内辅助病人摆位等用时约为 2min，PET-CT 扫描检查最长时间约 30~40min/人次（按照 40min/人次进行核算），阅片人员受照时间与 PET-CT 扫描检查时间一致。

一年最多 2500 个病人（每日最大诊断人数为 10 人，年工作日以 250 天计）。分装以及注射工作由 1 名护师完成，一年中分装受照时间为 42h，注射一年受照时间为 42h，PET-CT 检查室内辅助病人摆位（2 人轮流操作）一年单人最大受照时间为 42h。PET-CT 设备操作工作人员（2 人轮流操作）一年最大受照时间约为 833h。

本项目 5 名辐射工作人员。其中医师 2 名，在阅片室进行阅片，两名医生轮值。1 名护师负责药物注射和分装，2 名技师负责 PET-CT 设备操作，设备操作以及辅助摆位和药物注射分装分别由 2 人轮流操作。

表 11.7 ^{18}F 辐射工作人员放射性核素操作时间表

序号	操作步骤	单次时间	年操作次数	年操作时间 (h)	操作人员
1	药物分装	1min	2500 次	42	1 名护师
2	药物注射	1min	2500 次	42	

续表 11.7 ^{18}F 辐射工作人员放射性核素操作时间表

序号	操作步骤		单次时间	单人年操作次数	单人年操作时间(h)	操作人员
3	PET-C T 诊断	辅助病人 摆位	2min	1250 次	42	该项工作由 2 名 技师轮值, 因此 仅列出单人年最 大操作时间
4		PET-CT 扫描	55min	1250 次	833	
5		阅片	55min	1250 次	833	2 名医师轮值

(3) 剂量率 D 参数及计算结果

根据医院提供的资料, 药物分装由辐射工作人员在屏蔽通风橱外操作; 药物注射过程辐射工作人员在屏蔽注射窗后操作; PET-CT 检查室内辅助病人摆位辐射工作人员身穿 0.5mmPb 铅防护衣, 距离 1m 以上进行辅助摆位; PET-CT 检查过程辐射工作人员在控制室观察窗操作位进行隔室操作。

按照保守原则选取各处剂量率估算值最大值作为剂量率 D 参数。各处剂量率 D 参数选取如下:

- 1) 药物分装人员: 根据表 11.5 中通风橱西侧外 30cm 处剂量率 0.304 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ 保守计算。
- 2) 注射人员: 根据表 11.5 中注射室北侧防护窗外 30cm 处剂量率 0.132 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ 保守计算。
- 3) 辅助病人摆位人员: 按患者单次最大注射 10mCi, PET-CT 扫描时衰减为 8mCi, 在穿戴有 0.5mmPb 铅衣情况下, 距离用药患者用药后体外 1m 处的辐射剂量率为 25.3 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。
- 4) PET-CT 扫描操作人员身体: 按表 11.5 中控制室观察窗外 30cm 处剂量率 0.485 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ 保守计算。
- 5) 阅片医师: 保守选取控制室观察窗外 30cm 处剂量率 0.485 $\mu\text{Gy}/\text{h}$ 进行计算。

根据上述有效剂量估算公式、选取上述各参数, 本项目辐射工作人员年剂量预测结果如下:

表 11.8 辐射工作人员剂量率参数及年剂量预测结果

序号	操作步骤		选取剂量率 D ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年操作时间(h)	预测结果 ($\mu\text{Sv}/\text{a}$)	操作人员
1	药物分装		0.304	42	12.77	1 名护师操作
2	药物注射		0.132	42	5.54	
3	PET 诊断	辅助病人摆位	25.3	42	1062.60	2 名技师轮值
4		PET-CT 扫描	0.485	833	404.01	
5		阅片	0.485	833	404.01	2 名医师轮值

备注: 药物分装和注射为 1 名护师操作, 对此年剂量为两者之和 18.31 $\mu\text{Sv}/\text{a}$; PET-CT 诊断由 2 名技师轮值, 单人年剂量为两者之和 1466.61 $\mu\text{Sv}/\text{a}$; 阅片由 2 名医师轮值, 单人年剂量为 404.01 $\mu\text{Sv}/\text{a}$

(4) 辐射工作人员年有效剂量分析

本项目分装和注射辐射工作人员所受外照射年最大有效剂量附加值为 0.018mSv/a, PET-CT 诊断中辅助病人摆位和 PET-CT 扫描辐射工作人员所受外照射年最大有效剂量附加值为 1.467mSv/a,

阅片医师所受外照射年最大有效剂量附加值为 0.404mSv/a ,以上为保守计算结果,工作人员在实际工作中,采取穿戴铅防护服,正确佩戴个人剂量计等措施后,辐射工作人员受到的外照射年有效剂量将小于估算的剂量。本项目非密封放射性工作场所职业人员外照射年有效剂量小于核医学职业人员 5mSv/a 剂量约束限值要求。

2、公众成员年附加有效剂量

根据项目各功能用房周边相邻场所的用途可知,核医学辐射工作场所外围四周公众活动的区域主要为核医学楼二层的非辐射工作人员,还有一层核医学楼中核医学场所南侧区域的非辐射工作人员以及北侧围墙外、西侧污水处理站、西南侧方舱医院、西南侧临建施工生活区、南侧消防通道、南侧放疗楼、东侧户外广场等人员。

本项目四周评价范围各敏感点处公众人员按最不利情况考虑,四周关注点辐射剂量率均按距离敏感目标最近的本项目核医学控制区功能用房墙体外最大辐射剂量率经距离及辐射路径建筑物阻隔衰减后的最大辐射剂量率取值计算。

楼上及四周评价场所公众人员各位置居留时间不同。根据医院提供信息,以及核医学辐射工作场所根据设计规划资料,每天辐射病人最大就诊时间最大约为 6h ,每年工作 250 天,年总辐射工作时间为 1500h 。一层核医学楼内非辐射工作人员的受照时间按照患者注射室中病人注射及停留时间(单人最多 2min)进行计算,北侧围墙外人员按照PET-CT扫描时间(单人最多 20min)进行计算,污水处理站工作人员、临建施工生活区人员、方舱医院人员、放疗楼工作人员、户外广场人员按照核医学场所规划工作时间进行计算,公众外照射年附加有效剂量的计算结果见下表11.9。

表11.9 公众成员所受外照射年附加有效剂量计算结果

敏感目标名称	方位	相邻辐射场所	最近距离(m)	年总辐射时间(h/a)	居留因子	年受照时间(h/a)	区域内最大辐射剂量率($\mu\text{Gy/h}$)	年附加有效剂量(mSv/a)
二层办公区及实验室	顶层	患者注射室	4.8m	1500.0	1	1500	4.67E-02	0.0701
一层核医学楼内非辐射工作人员	西侧	患者注射室	1.0m	83.3	1	83.3	4.80E-01	0.0400
北侧围墙外人员	北侧	PET-CT机房	3.0m	833.3	1/16	52.1	1.41E-02	0.0007
污水处理站工作人员	西侧	注射后候诊室	16.0	1500	1	1500	4.24E-03	0.0064
临建施工生活区人员	西南侧	注射后候诊室	32.0	1500	1/4	375	1.21E-03	0.0005

续表 11.9 公众成员所受外照射年附加有效剂量计算结果

敏感目标名称	方位	相邻辐射场所	最近距离(m)	年总辐射时间(h/a)	居留因子	年受照时间(h/a)	区域内最大辐射剂量率(μGy/h)	年附加有效剂量(mSv/a)
方舱医院人员	西南侧	注射后候诊室	39.0	1500	1	1500	8.33E-04	0.0012
放疗楼工作人员	南侧	患者注射室	30.0	1500	1	1500	1.34E-03	0.0020
户外广场人员	东侧	PET-CT机房	3.0m	1500	1/16	94	1.58E-02	0.0015

由上表计算可知，周边关注点处保护目标公众成员外照射年有效剂量最大附加值为0.0701mSv/a，满足公众成员0.1mSv/a的剂量约束值要求。

3、小结

综上，本项目职业人员外照射年有效剂量最大附加值为1.467mSv/a，满足医院核医学辐射工作人员5mSv/a的目标限值要求；所致保护目标公众人员外照射年有效剂量最大附加值为0.0701mSv/a，满足公众成员0.1mSv/a的剂量约束值要求。

11.3 事故影响分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，核素使用可能发生的异常照射事故及应急情况类型主要有以下几种情形。

(1) 操作过程中，没有严格按照操作规程操作，溢漏、撒泼放射性物质或发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，污染工作台面和地面等。

处理措施：

①立即通知辐射防护负责人，并由其直接监督清除。

②与溢出事件无关的人员立即离开这一区域。

③用吸收垫覆盖溢出区以阻止污染的扩散，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。用表面污染监测仪测量污染区，如果β表面污染大于40Bq/cm²，表明该污染区未达到控制标准，这时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40Bq/cm²为止，擦拭的操作台的抹布应统一收集在污物桶内。

④当离开现场时，与溢出事件有关的人员都应该进行污染监测。

⑤如果衣服被污染，应该脱下并放进有“放射性”标志的塑料袋里。

⑥如果皮肤发生污染，应该立刻清洗污染区域，如果眼睛发生污染，应该用大量水清洗。

(2) 由于管理不善，发生放射性物品失窃、造成放射性污染事故。

避免事故的策略：加强管理，严格制定放射性药品的保管制度。

(3) 由于误操作，导致较大放射性剂量给药的情况会给患者造成不该施加的照射。

避免事故的策略：

①进行安全评价，明确应急情形。

②加强教育和防护培训，包括岗前教育和培训。

③建立事故报告制度，包括发生时间、发生地点、发生原因等。

④加强业务培训，提供业务能力，并严格按照操作规程进行操作。

⑤医生、护士等人员做好患者的信息沟通，给药前对药物进行测量并核对。

(4) 手部有伤仍从事放射性物质操作，可能造成内污染；违反核医学管理规定，在核医学工作场所吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射；将核医学用品（包括清洁用具）带到其他非放射工作场所；放射性药物发放错误：放射性药物未做标记乱甩、乱放造成误食或撒泼；显示设备灵敏度低病员不得不注射或服用较大剂量的放射性药物，而受到不必要的照射。工作人员没有经过专业知识培训，有不良工作习惯，对自身的防护不重视，注射用棉签，一次性手套乱扔，使室内受到污染，辐射水平增高。另外也有一部分工作人员过于重视自身防护，让患者将注射用棉签自己扔掉，会对外环境造成污染。

处理措施：

①该医院应加强辐射工作场所的现场管理，辐射管理人员加强日常的巡逻，加强防护知识培训，加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度。

②管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(5) 服药患者随便出入各场所，很容易对公众造成不必要照射。

处理措施：控制区出入口设有单向门进入，张贴警示标志，警示服药患者正确走向，防止其他工作人员及公众成员进入控制区，也避免服药病人服药后外出。

(6) 放射性废气排放中过滤净化装置失效或功能减弱，造成环境空气污染。

采取措施：

①应立即通知辐射防护管理人员并进行更换工作。

②放射性废气总排放口预留监测或取样口，定期进行监测，并记录存档。

(7) 放射性废液贮存衰变池外溢或未达标排入医院污水处理设施，造成场所和设施的污染。

采取措施：

- ①应立即通知放射防护管理人员并进行检查工作；
- ②衰变池的排放口预留监测或取样口，定期进行监测，并记录存档；
- ③对被污染区域被污染设备设施进行及时去污和更换，更换设备设施按照放射性固废的管理办法进行处置。

根据环保部 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《山西省辐射事故应急预案》《晋中市辐射事故应急预案》以及《介休市辐射事故应急预案》的相关要求，发生辐射事故时，医院立即启动本单位的辐射事故应急响应，采取必要措施，立即电话和书面报告，并应在 1 小时内向晋中市生态环境局介休分局报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

介休市人民医院已成立以法人为组长的辐射安全与环境管理领导小组，负责全院辐射安全环境保护管理领导工作，指导和督促从事放射诊断活动的科室和人员做好辐射安全放射防护工作；安排具有本科及以上学历的技术人员专职负责辐射安全工作；以红头形式下发至各相关部门；同时，已制定各成员的职责，做到分工明确、职责分明。

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》和生态环境部《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》（公告 2019 年第 57 号）的要求，从事辐射工作的人员必须通过“国家核技术利用辐射安全与防护培训平台”（网址：<http://fushe.mce.gov.cn>）报名并参加辐射安全防护相关知识培训和考核，并及时将辐射安全与防护成绩单编号录入“全国核技术利用辐射安全申报系统”，考核不合格的，不得上岗。取得辐射安全防护考核合格的人员，应当每五年接受一次考核。新从事辐射工作的人员以及原辐射安全培训合格证到期的人员，应当在上岗前通过考核，考核不合格的，不得上岗。

本次医院新增核医学场所配备的 5 名辐射工作人员均为医院原有辐射工作人员，待核医学工作场所正常运行后，本项目工作人员不涉及交叉操作其他核技术利用设施，辐射工作人员辐射安全上岗证情况见下表。

表 12.1 本项目辐射工作人员明细表

姓名	性别	专业	上一年度个人剂量 mSv	备注 (岗位)
史治山	男	医学影像	0.05	医师
李振	男	医学影像学	0.15	医师
韩艳	女	医学影像技术	0.26	技师——辅助病人摆位、PET-CT 扫描
宋明杰	男	医学影像技术学	0.29	
李鑫	女	护理学	0.11	护师——药物分装、注射

备注：表格中除李振之外，其余人员证书均已到期，需要根据《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》（公告 2019 年第 57 号）的有关要求进行了自行学习和考核合格后上岗。

12.2 辐射安全管理规章制度

介休市人民医院已制定了相关的辐射安全管理规章制度，新增工作场所可参照以下要求进行完善。

12.2.1 综合制度

- (1) 安全操作规程（新增核医学）。
- (2) 监测方案（新增核医学）。
- (3) 辐射事故应急预案（新增核医学）。
- (4) 放射性“三废”管理规定（新增核医学）。

12.2.2 核医学

- (1) 核医学场所
 - ①分区管理规定（含人流、物流路线图）。
 - ②核素的安全操作规程（操作、贮存等）。
 - ③去污操作规程、PET-CT 安全操作规程。
- (2) 放射性物质
 - ①非密封放射性物质的管理规定（领用、保管盘存和运输）。
 - ②物料平衡管理规定。
 - ③岗位责任制度。
 - ④应建立核素出入库登记制度。
 - ⑤应建立衰变池放射性废液检测制度。

12.2.3 其他

- (1) 建立如下台账
 - 核医学相关台账：
 - ①新核医学核素使用台账，记录核素的名称、每次领用的量、领用时间等详细信息。
 - ②新核医学核素转让台账。
 - ③核素管理台账，记录每种核素的名称、每次领用的量、领用时间等详细信息。
 - (2) 建立如下档案
 - ①辐射工作人员个人剂量档案及健康档案。
 - ②日常监测档案。
 - ③放射性废物处理档案。
 - ④工作区域辐射水平测量档案。
 - ⑤对核医学配备的防护用品、监测设备建档管理，便于查询、统计。
 - (3) 医院应根据要求每年编写核技术利用项目安全和防护年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告并登录全国核技术利用辐射安全申报系统（<http://rr.mee.gov.cn>）

v.cn) 填写相关内容。同时写入申报系统的信息还包括：①辐射工作人员培训的时间、证号等相关信息；②辐射工作人员个人有效剂量年度监测结果。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。安全和防护年度评估报告应当包括下列内容：

- ①辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- ②辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；
- ③辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育初级培训情况；
- ④核技术利用项目的台账；
- ⑤场所辐射环境监测和个人剂量监测情况及监测数据；
- ⑥辐射事故及应急响应情况；
- ⑦核技术利用项目新建、改建、扩建和退役情况；
- ⑧存在的安全隐患及其整改情况；
- ⑨其他有关法律、法规规定的落实情况。

(4) 依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定，完成环评审批后变更辐射安全许可证。许可证有效期为 5 年，应当于许可证有效期届满 30 日前，向原发证机关提出延续申请。

(5) 医院辐射项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测报告，建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。

12.2.4 竣工环境保护验收

表 12.2 本项目竣工环境保护自主验收一览表

序号	验收对象	验收内容
1	批复文件	环评批复文件是否齐备。
2	相符合性	辐射工作场所位置、布局、屏蔽及设备等与环评及批复是否一致。 核医学开展的核素使用量是否满足辐射安全许可证许可的范围。
3	达标排放	核医学工作场所控制区内房间屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值满足 $<2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 及 $<10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 限值要求。 通风柜、注射窗设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率控制目标值满足 $<2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 限值要求。 固体放射性废物收集桶、暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值满足 $<2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 限值要求。

续表 12.2 本项目竣工环境保护自主验收一览表

序号	验收对象	验收内容
3	达标排放	放射性固废暂存期超过 30 天，且包装表面剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$, $\beta < 4\text{Bq/cm}^2$ 。放射性废液暂存期超过 30 天，衰变池出水口总 β 放射性 $\leq 10\text{Bq/L}$ 。
		核医学辐射工作人员的外照射年有效剂量约束值满足 $< 5\text{mSv/a}$ 。 公众成员外照射年有效剂量约束值满足 $< 0.1\text{mSv/a}$ 。
4	日常监测	核实医院是否按照环评要求开展日常监测。
5	辐射环境管理	有健全的操作规程、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。
6	事故应急	辐射事故应急预案应符合工作实际，明确应急处理组织机构及职责、应急人员的组织、培训，辐射事故分级及应急措施、辐射事故的调查、报告和处理程序等。
7	辐射安全防护措施、防护用品或检测仪器	按照本报告 10.1.7.4 辐射安全防护用品表 10.3 中所列的辐射防护措施及防护用品、检测仪器等是否已落实到位。
8	人员要求	所有辐射工作人员考核合格后上岗且考核合格成绩单均在有效期内。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测目的

- 1、通过对辐射项目工作场所及周边环境周围剂量当量率和 β 表面污染的监测，了解该项目工作场所是否满足评价标准的要求及对环境的影响程度。
- 2、通过对个人有效剂量的监测，了解该项目对职业人员外照射剂量的贡献值，为项目的安全管理防护措施的改进及职业评价提供依据。
- 3、通过对衰变池放射性废液的抽样检测，保证放射性废液达标排放。
- 4、通过对废物间内的放射性固体废弃物的监测，保证放射性固废达标排放。
- 5、通过对核医学场所周围环境土壤的抽样检测，保证土壤中本项目应用核素在环境本底范围内。
- 6、通过对核医学排放气体的抽样检测，保证放射性气体排放在环境本底范围内。

12.3.2 监测任务的承担单位

由本单位或委托有资质的单位承担。

12.3.3 监测方法

按照《辐射环境监测技术规范》HJ 61—2021 对辐射项目周边环境进行监测。

按照《核医学辐射防护与安全要求》HJ1188—2021 对辐射项目工作场所及放射性固体废物进行监测。

按照《职业性外照射个人监测规范》GBZ128—2019 对个人有效剂量监测进行。

按照《表面污染测定第一部分β发射体(最大β能量大于 0.15MeV)和α发射体》GB/T14056—2008 对环境及工作场所表面污染进行监测。

按照《水中总β放射性的测定方法 蒸发法》(EJ/T900—1994) 对放射性废液进行监测。

按照《土壤中放射性核素的γ能谱分析方法》(GB/T11743—2013) 对核医学周围环境土壤进行监测。

按照《环境空气 气溶胶中γ放射性核素的测定 滤膜压片/γ能谱法》(HJ1149—2020) 对核医学排放废气进行监测。

12.3.4 监测内容

项目环境、工作场所、放射性固体废物监测内容主要是周围剂量当量率、β表面污染。

项目人员个人剂量监测内容主要是辐射工作人员个人年有效剂量。

项目放射性废液监测内容主要是总β值、¹⁸F。

项目场所周围环境土壤监测内容主要是应用核素¹⁸F。

项目放射性废气监测内容主要是应用核素¹⁸F。

12.3.5 辐射剂量监测点位置及频次

12.3.5.1 工作场所监测

应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于下表的内容。

表 12.3 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	放射性药品注射、扫描场所。	1 次/天
	发生事故时可能受到放射性污染的区域。	1 次/每次事故
	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；存有放射性物质的装置、设备、包装的表面；输送放射性药品通道与容器；废物暂存间、铅观察玻璃、防护门。	不少于 1 次/月

续表 12.3 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面；注射室、注射后候诊室、检查室、留观室、病人走廊的设施、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)

12.3.5.2 环境及放射性固体废物监测

医院科室应自行或委托有能力的监测机构对本项目核医学工作场所周围环境及放射性固体废物贮存室或贮存容器外表面的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

12.3.5.3 放射性废液监测

委托有资质的单位采样本项目衰变池（预留取样口）废液进行监测。监测频次应不少于 1 次/年。

发生事故时委托有资质的单位采样本项目衰变池每次排放前的放射性废液进行监测，监测频次 1 次/每次排放。

12.3.5.4 废气监测

医院应委托有能力的监测机构对本项目核医学工作场所所有放射性排气口废气进行监测，频次 1 次/年。

12.3.5.5 人员有效剂量监测

对放射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测交由具有个人剂量监测资质的单位进行。

监测频次为 1 次/3 个月，4 次/年，并将监测结果及时填报至“全国核技术利用安全申报系统”。

12.4 辐射事故应急

根据《山西省辐射事故应急预案》《晋中市辐射事故应急预案》以及《介休市辐射事故应急预案》的相关要求，发生辐射事故时，医院立即启动本单位的辐射事故应急响应，应向当地生态环境部门初报、续报、总结报告，填写《辐射事故初始报告表》《辐射事故后续报告表》。造成或可能造成人员辐射损伤的，还应同时向事发地县级卫生健康部门报告。

医院已制定了辐射事故应急预案，院方应根据本次核技术利用项目内容完善辐射事故应急预案。预案内容应包括：辐射事故分级；辐射事故的预防；辐射防护管理组织机构、职责分工、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；应急响应措施；应急响应、奖惩制度、事故责任处理、应急响应准备和事故应急演练；辐射事故的调查、报告和处理程序；辐射事故信息

公开、公众宣传方案。

12.4.1 辐射事故应急预案

介休市人民医院已制定辐射事故应急预案，医院现有《辐射事故应急预案》中包括编制目的、编制依据、应急原则、适用范围、核技术利用情况和辐射事故分级、辐射事故应急组织机构和职责、事故预警、应急响应（包括接报和启动预案、事故报告、应急处置、应急监测、信息发布和安全防护）；应急状态终止和恢复措施（包括应急终止、调查评估、善后处理、事故总结）；应急能力建设和维持（包括信息保障、经费保障、物资保障、人员保障、应急宣传教育、应急培训、应急演练）、预案修订等内容。医院应结合本项目辐射事故应急管理需要，需对《辐射事故应急预案》进行完善，需完善的内容如下：

- (1) 在预案适应范围中增加核医学放射性同位素丢失、失控的情况。
- (2) 在辐射事故应急组织机构及职能中增加相关科室人员及对应职责。
- (3) 在应急处理措施中增加核医学可能发生辐射事故的应急处理程序相关内容。
- (4) 增加核医学可能发生辐射事故的意外条件，包括放射性污染、衰变池污水溢出等辐射事故情景的相关应对方案。
- (5) 增加应急救助的装备、资金保障情况。

12.4.2 应制定应急人员的培训演习计划

- (1) 制定周密的演练方案，明确演练内容、目的、时间、地点、人员等。
- (2) 进行合理的人员分工，成立演练领导组、工作组、保障组等机构，进行角色分工，明确人员职责。
- (3) 做好充分的演练准备，维护仪器设备，配齐物资器材，找好演练场地。
- (4) 认真开展实战演练，按照事先预定的方案和程序进行。
- (5) 演练完毕后及时进行总结归纳。

12.4.3 事故报告

根据环保部 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《山西省辐射事故应急预案》《晋中市辐射事故应急预案》以及《介休市辐射事故应急预案》的相关要求，发生辐射事故时，医院立即启动本单位的辐射事故应急响应，采取必要措施，立即电话和书面报告，并应在 1 小时内向晋中市生态环境局介休分局报告。初报主要报告内容为发生辐射事故的原因、发生时间、地点、人员受照情况、事故潜在的危害程度等初步情况，在电话报告后应在 2 小时内填写上报《辐射事故初始报告表》，造成或可能造成人员辐射损伤的，还应同时向介休市卫生健康和体育局报告。

续报采用书面报告，在初报的基础上报告有关确切数据，以及事故发生的原因、过程、进展情况及采取的应急措施等基本情况。终结报告采用书面报告，在初报和续报的基础上，报告处理事故的过程、采取的措施和结果，事故潜在或间接的危害、社会影响、处理后的遗留问题，参加处置工作的有关部门和工作内容，出具有关危害与损失的证明文件等详细情况。

12.4.4 从事辐射活动能力评价

(1) 根据《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环境保护部令第3号）的相关规定与介休市人民医院从事本项目辐射活动能力评价对照表见表12.4。

(2) 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第18号）的规定与介休市人民医院从事本项目辐射活动能力评价对照表见表12.5。

(3) 根据生态环境部（国家核安全局）丙级非密封放射性物质医学操作场所监督检查技术程序（文件编号NNSA/HQ-08-JD-IP-007）以及III类医用射线装置监督检查技术程序（NNSA HQ-08-JD-IP-036）的要求与介休市人民医院从事本项目辐射活动能力评价对照表见表12.6~12.8。

表12.4 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求对照表

序号	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条相关	医院拟落实情况
1	应当设有专门的辐射安全环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院已成立辐射安全工作领导小组，法定代表人担任组长，1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	拟派辐射工作人员除李振之外，其余人员需根据《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》（公告2019年第57号）的有关要求进行了自行学习和考核合格后上岗。
3	放射性同位素与射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	拟制定相应的操作规程。控制区入口处等辐射工作场所外拟设置电离辐射警告标志，控制区出入口设门禁系统，PET-CT机房外设置工作指示灯等。

续表 12.4 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求对照表

序号	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条相关	医院拟落实情况
4	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。	拟配备固定式 X γ 射线检测报警仪，环境辐射监测仪、表面玷污仪、个人剂量计及个人剂量报警仪。配备铅围裙、铅围脖等防护用品。
5	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院已制定相关制度，拟制定本项目操作规程、监测方案等。
6	有完善的辐射事故应急措施。	医院已制定辐射事故应急预案。拟修订完善辐射事故应急预案的相关内容。

表 12.5 项目执行“放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法”要求对照表

序号	放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法	医院拟落实情况
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。 第六条 第七条 放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置，应当设置明显的放射性标识和中文警示说明。	PET-CT 机房门外设置工作指示灯；放射性工作场所出入口设置门禁系统、视频监控。在核医学入口处、注射室等辐射工作场所外设置电离辐射警告标志。 废物桶及放射性药品储存柜通风橱等设置电离辐射标志。
2	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	拟配备便携式辐射剂量监测仪、表面沾污监测仪进行自测，并定期委托有资质的单位对辐射工作场所及其周围环境进行监督监测。
3	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向生态主管部门提交年度评估报告。	每年 1 月 31 日前向生态主管部门提交年度评估报告。
4	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	拟派辐射工作人员除李振之外，其余人员需根据《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》（公告 2019 年第 57 号）的有关要求进行了自行学习和考核合格后上岗。

续表 12.5 项目执行“放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法”要求对照表

序号	放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法	医院拟落实情况
5	<p>第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。</p>	医院对所有从事放射性工作的人员配备热释光个人剂量计，并安排专人负责个人剂量监测管理，同时建立辐射工作人员个人剂量档案。
6	<p>第二十四条 生产、销售、使用射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。</p>	委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。

表 12.6 项目执行“丙级非密封放射性物质医学操作场所监督检查技术程序”

关于辐射安全防护设施与运行要求对照表

序号	检查项目		本项目拟落实情况
1	A 场所 设施	工作场所功能、设置及分区布局	场所分区布局设计合理。
2		场所分区的管控措施及标识	拟设场所分区的管控措施（如门禁系统、监控设施等）及相应标识。控制区入口设置电离辐射警告标志、标明控制区的标志；监督区入口设置标明监督区的标志。
3		电离辐射警告标志	辐射工作场所外拟设电离辐射警告标志。
4		通风柜	拟设通风橱，独立的通风设施。
5		防止放射性液体操作造成污染的措施	拟修订完善辐射事故应急预案的相关内容；拟设置放射性废物储存桶、洗手池、淋浴设施；拟配备防护用品及应急物资等。
6		放射性废水处理系统及标识	拟设置槽式衰变池，拟设置衰变池电离辐射警告标志。
7	B 监测 设备	放射性物料与成品暂存场所或设施	拟于分装室通风橱内用于放射性药品的暂存。
8		放射性固体废物暂存场所或设施	设置放废间，拟购相当数量的放射性废物储存桶。
9		安保设施	放射性场所设置监控设施、门禁系统等
10		便携式辐射监测仪	拟配1台便携式辐射剂量监测仪、2台表面沾污监测仪。

续表 12.6 项目执行“丙级非密封放射性物质医学操作场所监督检查技术程序”

关于辐射安全防护设施与运行要求对照表

序号	检查项目		本项目拟落实情况
11	B 监测设备	个人剂量计	每个辐射工作人员配备热释光个人剂量计；本项目拟配备个人剂量报警仪 5 个。
12	C 防护用品	个人辐射防护用品	拟配备铅橡胶围裙 2 件、铅围脖 2 件、铅橡胶性腺防护围裙 2 件。
13	D 应急物资	去污用品和应急物资	拟配备去污用品和应急物资。

表 12.7 项目执行“丙级非密封放射性物质医学操作场所监督检查技术程序”

关于管理制度与执行情况对照表

序号	项目	检 查 项 目	本项目拟落实情况
1	A 综合	辐射安全与防护管理大纲	拟制定辐射安全管理规定
2	B 放射性药物	非密封放射性物质的管理规定	拟制定放射性药物管理制度
3		物料平衡管理规定	已制定放射性核素及配套药盒的订购、领取、保管、使用制度
4	C 场所管理	场所分区管理规定	拟制定场所分区管理规定
5		操作规程	拟制定本项目操作规程
6		安保管理规定	拟制定安保管理规定
7		去污操作规程	拟制定去污操作规程
8	D 监测	监测方案	拟制定相应监测方案
9		监测仪表使用与校验管理制度	已制定射线监测仪器使用及检验管理制度
10	E 人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定放射工作人员放射防护培训管理制度
11		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定辐射工作人员个人剂量管理制度
12	F 应急	辐射事故应急预案	已制定辐射事故应急预案，拟修订辐射事故应急预案相关内容
13	G 三废	放射性“三废”管理规定	已制定放射性废物处理制度

表 12.8 项目执行“III类医用射线装置监督检查技术程序”

关于辐射安全防护设施与运行要求对照表

序号	检查项目		本项目拟落实情况
1	A 场所 设施	单独机房	PET-CT 机房单独设置。
2		机房门窗防护	PET-CT 机房采取了相应的辐射防护屏蔽措施。
3		候诊位设置	设置了注射后候诊室。
4		闭门装置	PET-CT 机房设置了闭门装置。
5		防护用品和辅助防护设施	拟配备铅橡胶围裙 2 件、铅围脖 2 件、铅橡胶性腺防护围裙 2 件以及应急物资等。
6		入口处电离辐射警告标志	辐射工作场所外拟设电离辐射警告标志。控制区入口设置电离辐射警告标志、标明控制区的标志；监督区入口设置标明监督区的标志。
7		入口处机器工作状态显示	PET-CT 机房外设置工作指示灯等
8	B 其它	监测仪表	拟配 1 台便携式辐射剂量监测仪。
9		个人剂量计	每个辐射工作人员配备热释光个人剂量计。

以上分析可知，在采取环评规定措施情况下，该单位从事本项目辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 本次评价内容及污染途径

本次评价的内容为介休市人民医院西北角新建核医学楼，新建核医学楼一层北侧属于丙级非密封放射性物质工作场所，拟使用¹⁸F 非密封放射性核素，配有 PET-CT 机 1 台，日等效最大操作量为 3.70E+06，属于丙级非密封放射性物质工作场所。本项目污染途径为 γ 射线外照射、 β 表面污染以及 X 射线。

13.1.2 产业政策符合性和辐射实践正当性

根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录》（2019 年本，2021 年修订），本项目属于鼓励类中第六项“核能”的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”、第十三项“医药”的第 5 条“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备”及第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目，符合现行的国家产业政策。

核医学场所具有严格的布局、防护、通风、排水措施，对不同的病人有严格的用量控制。项目建成以后，医院将为病人提供一个优越的诊断环境，能在保障病人健康的同时为医院创造更大的经济效益。经理论计算，由本项目给辐射工作人员和公众带来的有效剂量低于有效剂量管理约束值。综合分析，该医院新增丙级非密封放射性工作场所的使用对受电离辐射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002) 中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.1.3 选址及布局的合理性

新建核医学科楼位于医院内西北侧，非密封放射性物质工作场所为相对独立的区域，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。所有排风口均布置在核医学科楼顶且高于该建筑屋顶，排风口已尽可能远离了周边高层建筑，产生的放射性废气经活性炭过滤器处理后排放，符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中核医学科工作场所选址的要求。

项目非密封放射性物质工作场所划分了控制区和监督区进行管理，控制区相对集中。非密封放射性物质工作场所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，减少了给药后患者对其他人员的照射。非密封放射性物质工作场所设置有单独的出入口，控制区出入口防护门设置有门禁系统，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。控制区内设有给药后患者的专用卫生间。控制区的医师出入口设立卫生缓冲区，为工作人员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。因此项目布局符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)核医学科工作场所布局的要求。

13.1.4 剂量率评价

13.1.4.1 现状剂量率评价

根据现场监测结果，介休市人民医院新建科医学楼中心及周边 50m 范围内场所环境 γ 辐射剂量率监测值在 (68~105) nGy/h 之间，与晋中市 γ 辐射剂量率本底水平 (32.7~109.5) nGy/h 相比为正常辐射本底水平(《山西省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，《辐射防护》，第 10 卷第 6 期，1990.11)。

根据土壤采样检测结果，该医院新增核医学场所周围采样土壤总 β 分析测量值为 699Bq/kg，采样土壤中核素¹⁸F 低于探测下限。

13.1.4.2 剂量率预测评价

根据计算结果可知，核医学工作场所各功能房间屏蔽墙外的周围剂量当量率均能够满足 HJ1188-2021 中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h 及 10 μ Sv/h”的限值要求。放射性药物通风柜、注射窗外表面的周围剂量当量率满足 HJ1188-2021 中“通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h”的限值要求。

经估算，本项目放射性废物储存桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率为 2.06 μ Sv/h，能够满足 HJ1188-2021 中“固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h”的限值要求。

本项目放射性废液产生量较少，所有放射性废液衰变管道为直埋敷设，故本项目没有暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液管道，废液衰变管道对环境的辐射影响很小。

13.1.5 有效剂量估算结果

通过理论计算预测：本项目按照设计施工建设，医院落实相关辐射安全与防护措施后，本项目辐射工作人员所受外照射年最大有效剂量附加值为 1.467mSv/a，满足核医学辐射工作人员年有效剂量 5mSv/a 约束值的要求。公众成员的年附加有效剂量为 0.0701mSv/a，能满足 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

13.1.6 污染防治措施合理性

(1) 通过计算，本项目工作场设计中提出的辐射屏蔽材料和厚度能够满足标准所要求的屏蔽要求。本项目核医学工作场所进行了分区管理，有清晰的人流物流方向图，避免了交叉污染，且项目设计中设置了门禁系统，其中患者走廊方向设置了单向门禁系统、工作指示灯及电离辐射警告标

识以及地面指引标识等，建设单位在落实了本报告提出的配备相应的防护用品等污染防治措施后，该项目污染防治措施的设置合理、全面。

(2) 本项目核医学设置有独立的放射性废液衰变池，衰变池的容积（约 28.1m³）可以满足排放要求。放射性废液经衰变池衰变后能够得到有效处理，处理后再排入医院污水管网，定期对衰变池中的放射性废液进行监测，以满足达标排放的要求。

(3) 项目设计了放射性固废暂存的废物间及放射性废物储存桶，放射性固体废弃物经放废间衰变暂存衰变且检测达标后作为普通医疗固废处理，不会对环境造成影响。

(4) 拟建核医学工作场所单独设置了 5 套排风系统，排风管道单独设置，废气引至本建筑物屋顶经高效活性炭过滤装置处理后排放，该项目废气对周围大气环境的辐射影响很小。

13.1.7 环境管理制度

该院在严格落实本报告中从场所设施、监测、应急预案、人员方面提出的相应制度后，安全和防护环境管理措施能够满足开展本项目的环保要求。

13.1.8 建设单位从事辐射技术的能力

通过与依据《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环境保护部令第 3 号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）、生态环境部（国家核安全局）《丙级非密封放射性物质医学操作场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-007）以及《III类医用射线装置监督检查技术程序》（NNSA HQ-08-JD-IP-036）的规定比对，该单位严格执行本报告规定的措施后，具备从事辐射活动的技术能力。

13.1.9 总结论

介休市人民医院核医学科新建项目严格采取本评价所述的环境管理、环境监测、安全防护措施，严格落实本报告提出的环境保护要求，该医院的辐射防护设施完全可以达到环保和辐射安全的要求，对环境和公众安全，该项目是可行的。

13.2 建议

- (1) 严格按照设计进行施工。
- (2) 严格按照本报告提出的污染防治措施和辐射管理要求进行完善。
- (3) 加强核医学工作场所日常的管理和监督、管理。

表 14 审批

下一级生态环境主管部门预审意见:

公章

经办人

年 月 日

审批意见:

公章

经办人

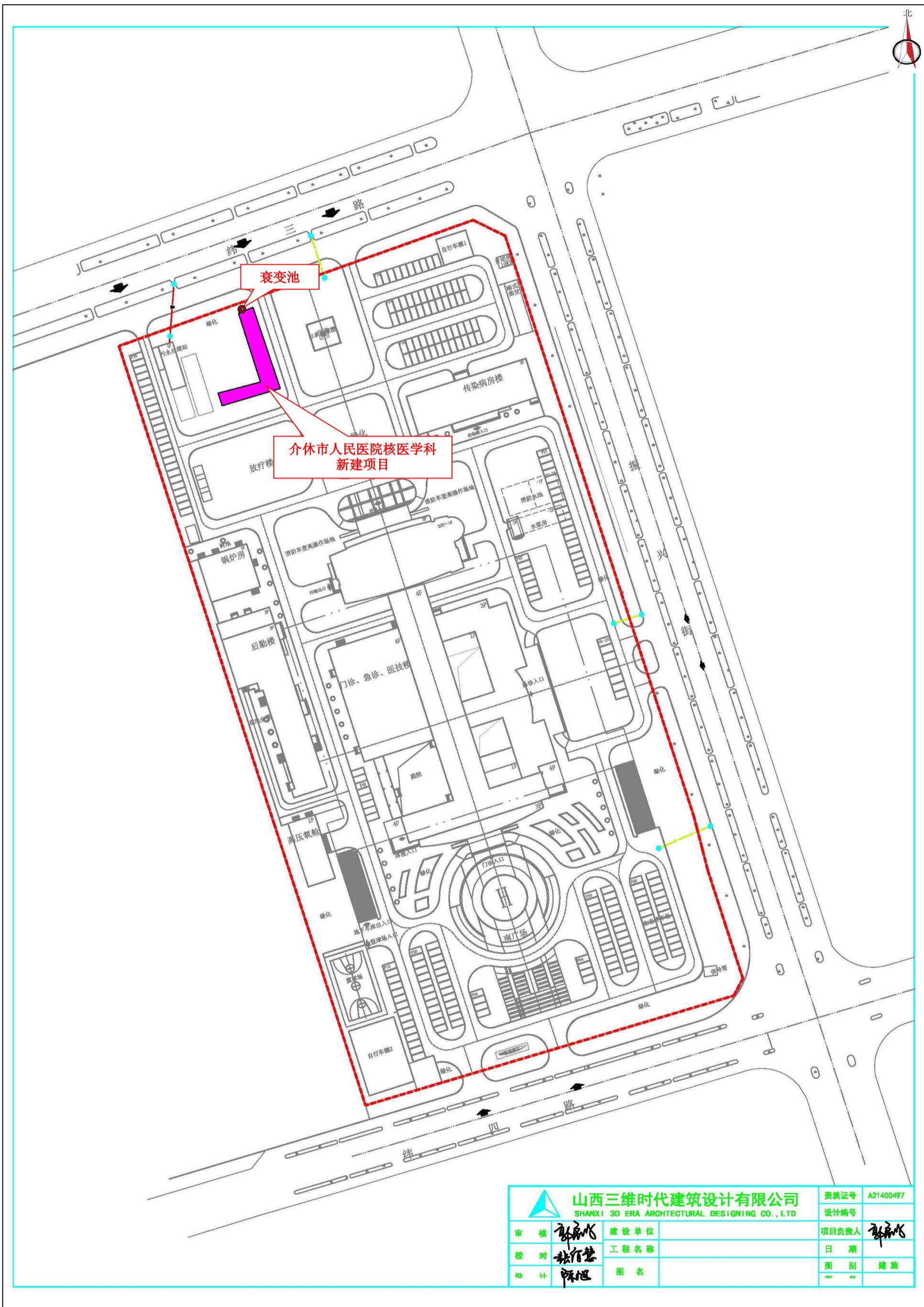
年 月 日

附图 1



项目地理位置图

附图 2



介休市人民医院总平面图

