

编号：B2022049FS

核技术利用建设项目

山西医科大学第一医院  
新增丙级非密封放射性物质工作场所项目  
环境影响报告表

(公示本)

山西医科大学第一医院

2022年10月

核技术利用建设项目

山西医科大学第一医院  
新增丙级非密封放射性物质工作场所项目  
环境影响报告表

建设单位名称：山西医科大学第一医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：山西省太原市迎泽区解放南路 85 号

邮政编码：030001

联系人：毕丽青

电子邮箱：

联系电话：0351-4639207

## 编制单位和编制人员情况表

项目编号			
建设项目名称	山西医科大学第一医院新增丙级非密封放射性物质工作场所项目		
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）	山西医科大学第一医院		
统一社会信用代码	12140000405703337X		
法定代表人（签章）	张瑞平		
主要负责人（签字）	毕丽青		
直接负责的主管人员（签字）	毕丽青		
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
柳争艳	2015035140350000003509140304	BH004221	
2.主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
柳争艳	项目基本情况、保护目标与评价标准、现状调查、工程分析、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论。	BH004221	



姓名: 柳争艳  
 Full Name \_\_\_\_\_  
 性别: 女  
 Sex \_\_\_\_\_  
 出生年月: 1978. 02  
 Date of Birth \_\_\_\_\_  
 专业类别: \_\_\_\_\_  
 Professional Type \_\_\_\_\_  
 批准日期: 2015-5-24  
 Approval Date \_\_\_\_\_

持证人签名:  
 Signature of the Bearer

柳争艳

签发单位盖章:  
 Issued by \_\_\_\_\_  
 签发日期: 2015年 12月 30日  
 Issued on \_\_\_\_\_

管理号: 201503514035000003509140304  
 File No. \_\_\_\_\_



本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.



Ministry of Human Resources and Social Security  
 The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection  
 The People's Republic of China

编号: HP 00017882  
 No. \_\_\_\_\_





项目所在综合实验楼



项目北侧物流中心



项目东北侧医技楼及东南侧配电楼



项目东南侧车队辅助楼及配电楼



项目南侧锅炉房



项目南侧肿瘤诊疗中心及2号住院楼

现场图集



项目南侧垃圾站



项目东南侧洗涤部



项目西侧接收部、北侧采供点楼及快餐店等



项目北侧物流中心



西侧山大医院（1、2、4、7号）家属楼



项目场所现状（综合实验楼一层）



项目楼上二层食堂现状（拟搬迁）

现场图集



项目楼上三层食堂现状（拟搬迁）



项目楼上四层病理科



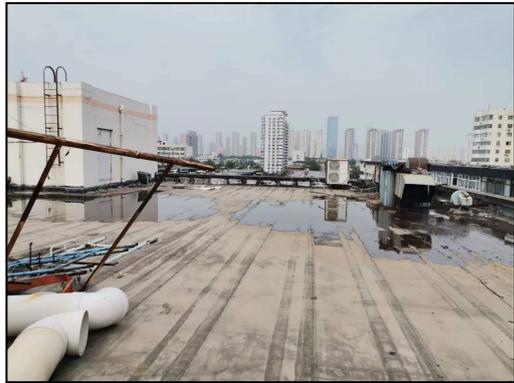
项目楼上五层病理科



项目楼上六层病理科



项目所在综合实验楼六层楼顶



现场图集

# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	7
表 3 非密封放射性物质 .....	8
表 4 射线装置 .....	9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	14
表 6 评价依据 .....	15
表 7 保护目标与评价标准 .....	17
表 8 环境质量和辐射现状 .....	20
表 9 项目工程分析与源项 .....	24
表 10 辐射安全与防护 .....	30
表 11 环境影响分析 .....	44
表 12 辐射安全管理 .....	58
表 13 结论与建议 .....	69
表 14 审批 .....	72

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称	山西医科大学第一医院新增丙级非密封放射性物质工作场所项目				
建设单位	山西医科大学第一医院				
法人代表	张瑞平	联系人	毕丽青	联系电话	0351-4639207
注册地址	山西省太原市迎泽区解放南路 85 号				
项目建设地点	山西医科大学第一医院综合实验楼一层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	3490.85	项目环保投资 (万元)	398.85	投资比例(环保投资/总投资)	11.4%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (m <sup>2</sup> )	515.45
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他				

**1.1 医院简介**

山西医科大学第一医院创建于 1957 年，1996 年 9 月 5 日山西省人民政府批复同意山西医学院更名为山西医科大学，同年 12 月，山西医学院第一临床医学系更名为山西医科大学第一临床医学院，山西医学院第一附属医院更名为山西医科大学第一医院。

医院东侧为隔解放南路与迎泽公园毗邻，南侧为康乐街，西侧为医院家属院，北侧为文源巷。

本项目所处位置为医院西北侧的综合实验楼一层，项目周围 50 米范围建筑物为：东北侧为医技楼，东南侧为配电楼及车队辅助楼，南侧为锅炉房、肿瘤诊疗中心及 2 号住院楼，西侧为医院家属院 1#、2#、4#、7#住宅楼及医院收发室，北侧为物流中心及采供点楼及快餐店等。

**1.2 建设单位核技术利用现状**

该医院于 2022 年 7 月 18 日更换了辐射安全许可证（晋环辐证【00549】），有效期至 2024 年 6 月 1 日，辐射安全许可证上登记的种类和范围为：使用 III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所（辐射安全许可证见附件二）。

医院现已开展的核技术利用项目为：使用的 III、V 类放射源 5 枚（后装 1 枚、校准源 3 枚，敷

贴源 1 枚)；乙级非密封放射性工作场所许可 16 种放射性同位素 ( $^{131}\text{I}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{125}\text{I}$  粒籽源、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{82}\text{Sr}$ - $^{82}\text{Rb}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{90}\text{Y}$ )，目前使用 12 种放射性同位素 ( $^{131}\text{I}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{125}\text{I}$  粒籽源、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ )；53 台医用 II、III 类射线装置，其中 9 台医用 II 类射线装置 (直线加速器 1 台，回旋加速器 1 台、血管造影机 7 台) 及 44 台医用 III 类射线装置，详见表 2~表 4。

该院现有的核技术利用项目环保手续履行情况详见表 2~表 4，除急诊医学中心创伤复苏单元 1 台医用血管造影 X 射线系统、5 号住院楼二层使用非密封放射性物质  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  已取得环评批复并办理了辐射安全许可证，目前尚未办理竣工验收手续外，其他现有核技术利用项目已根据要求履行了环境影响评价及竣工环保验收手续。辐射安全与防护设施完善，管理制度健全，现有辐射工作人员 307 名均已取得了上岗证或成绩报告单，无遗留的环境问题。

### 1.3 评价目的和项目的由来

#### 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 项目由来

为满足医院开展诊断及治疗的需要，该院拟在综合实验楼一层新增丙级非密封放射性物质工作场所进行放射性药物的使用 (开展诊断显像设备 PET/MR，使用  $^{18}\text{F}$  放射性同位素)，根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，新增丙级非密封放射性物质工作场所项目需进行辐射环境影响评价，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》，本项目需编制环境影响报告表。

山西医科大学第一医院于 2022 年 6 月委托山西大地晋新环境科技研究院有限公司对该院新增丙级非密封放射性物质工作场所项目进行环境影响评价 (见附件一)。山西大地晋新环境科技研究院有限公司根据委托，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《山西医科大学第一医院新增丙级非密封放射性物质

工作场所项目环境影响报告表》。

## 1.4 项目概况

### 1.4.1 项目建设内容

本项目核医学科工作场所位于医院西北侧综合实验楼一层（原为洗衣房，现场踏勘时为空闲场所）；场所楼上二层、三层目前均为食堂，均拟搬迁，均拟改为病理实验室；四层至六层为病理科；楼下为土层。本次医院拟在上述场地新增丙级非密封放射性物质工作场所开展放射性药物的使用，在该场所内安装 PET/MR 一台，利用已有核医学科生产的核素  $^{18}\text{F}$  进行诊断，总建筑面积约为  $515\text{m}^2$ 。医院地理位置及项目所在位置详见附图 1、附图 2。

### 1.4.2 项目规模及主要技术参数

PET/MR 利用已有核医学科回旋加速器生产的核素  $^{18}\text{F}$  进行诊断，核素规模及参数见表 1.1。

表 1.1 项目拟使用核素规模及参数表

核素名称	半衰期 (min)	衰变方式	主要β射线能量 (MeV)	主要γ射线能量 (MeV)	理化性质	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)
$^{18}\text{F}$	109.8	$\beta^+$ 、EC	0.63	0.511	液体	$1.85\text{E}+9$	$4.62\text{E}+11$	$1.85\text{E}+6$

备注：PET/MR 设备使用 5 枚 V 类校准源  $^{68}\text{Ge}$ ，已于 2022 年 9 月 28 日在建设项目环境影响登记备案系统（山西省）进行了备案，备案号：202214010600000047，本次对该 V 类校准源只进行简单分析说明。

### 1.4.3 项目组成

项目组成见下表。

表 1.1 项目工程组成表

名称	建设内容	备注	
主体工程	PET/MR 检查室、PET/MR 操作间、PET/MR 设备间、源库、注射准备室、注射室、废物间、病人卫生间、注射后候诊室、留观室等。	新建	
辅助工程	阅片会诊室、医师更衣室、医师卫生间、医师淋浴间、接诊登记室、注射前候诊室及辅助设备安装等。		
公用工程	供水、配电、视频监控和对讲广播、通信等。	新建	
环保工程	屏蔽措施 PET/MR 检查室具备射线屏蔽功能，四周墙体 200mm 混凝土，顶部原 150mm 混凝土+200mm 混凝土，防护门、窗均为 10mm 铅当量。 其他涉及核素应用的各功能室及门窗具备辐射屏蔽功能。 个人防护用品、辐射巡检仪（含表面污染探头）、环境辐射检测仪、铅手提盒、屏蔽注射窗等。	新建	
	废气	建设独立的空调、机械新风、排风系统，废气排放过滤系统。	新建
	废液	建设废水收集、处理处置系统，包括排水管网的屏蔽、衰变池等。	新建
	固废	建设废物间（即放射性废物暂存间）用于放射性固体废弃物的暂存。	新建
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；一般固废、医疗废物依托医院固废收集系统处置。	依托	

#### 1.4.4 辐射工作人员

项目辐射工作人员利用已有核医学科科室的 7 名辐射工作人员，该 7 名辐射工作人员均经过培训考核并取得辐射安全上岗证。

本项目 1 名化学师负责将放射性药物从原有核医学科的回旋加速器工作场所分装并运送至本项目综合实验楼一层北侧传递窗，2 名技师（轮职）负责药物接收与暂存、药物质检、注射及 PET/MR 机器操作。

#### 1.4.5 新增项目与现有设施依托情况

项目场所为新增核医学科工作场所，是对现有综合实验室一层进行改建，与医院原有乙级非密封放射性物质工作场所（位于医技楼负一层、三层、四层）分别处于不同的建筑物内，本项目辐射防护屏蔽、供水供电、污水排放、固体废物暂存、废气处理及排放等辐射防护及污染物处理设施均进行新增设计，不依托原有核医学科设施。

本项目辐射工作人员利用新增阅片室作为辐射工作人员办公室，不依托原核医学科办公室；项目所产生的放射性废液排入新建衰变池，经衰变后进入医院区已建的污水处理站进行处理后排入太原市市政污水管网；项目产生的放射性废物在新建废物间暂存足够时间，达到清洁解控水平后转移至医院原有医疗废物暂存处，作为医疗废物处理；项目所产生的生活垃圾由环卫部门清运处理；项目所产生的放射性废气经新建的过滤排气系统排至本项目所在的综合实验楼楼顶。

本项目使用核素  $^{18}\text{F}$  每人最大用量  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$  (10mCi)，日最大诊断人数 10 人， $^{18}\text{F}$  日最大操作量为  $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，即 0.1Ci，项目使用核素  $^{18}\text{F}$  拟依托现有核医学科回旋加速器生产的核素，核素的分装操作步骤在原核医学科场所内进行，不会增加回旋加速器  $^{18}\text{F}$  的生产规模（日最大操作量为  $5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，即 1.5Ci），不会改变原有核医学科工作场所的级别，本次不对原有核医学科进行任何改造，本项目场所仅对运输过来的核素进行源库暂存、注射及显影扫描使用。

#### 1.4.6 与本项目有关的原有污染情况及环保执行情况

本项目新增核医学科性质为扩建，与本项目有关的原有污染主要为项目东北侧原有乙级核医学科工作场所。原乙级核医学科使用的 V 类放射源 4 枚（校准源 3 枚，敷贴源 1 枚）；原乙级非密封放射性工作场所许可 16 种放射性同位素（ $^{131}\text{I}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{125}\text{I}$  粒籽源、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{177}\text{Lu}$ 、 $^{82}\text{Sr}$ - $^{82}\text{Rb}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{90}\text{Y}$ ），目前使用 12 种放射性同位素（ $^{131}\text{I}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{125}\text{I}$  粒籽源、 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{64}\text{Cu}$ ），使用 1 台 SPECT/CT，使用 2 台 PET/CT 用于诊断。

现有的核技术利用项目除急诊医学中心创伤复苏单元 1 台医用血管造影 X 射线系统、5 号住院

楼二层使用非密封放射性物质  $^{99m}\text{Tc}$  已取得环评批复并办理了辐射安全许可证，但目前尚未办理竣工验收手续外，其他现有核技术利用项目已根据要求履行了环境影响评价及竣工环保验收手续。无遗留的环境问题。

#### 1.4.7 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），属于鼓励类中第三十七项“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。

建设单位在放射性诊断过程中，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务人员、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。

#### 1.4.8 环保投资情况

本次核技术利用项目总投资为 3490.85 万元，其中项目环保投资为 398.85 万元，占总投资额的 11.4%，环保投资明细见表 1.7。

表1.7 环保投资一览表

项目	具体措施		投资（万元）
辐射防护措施	屏蔽措施	PETMR 检查室、源库、注射准备室、注射室、注射后候诊室等功能房间屏蔽防护（含铅门、铅窗）。	238.0
辐射防护措施	安全措施	PET/MR 检查房门、机、灯联锁，控制区出入口设置门禁系统及卡盘。	8.0
		辐射工作场所外电离辐射警示标志、射线警示灯。	2.0
		主要各功能房外设视频监控、音箱。	9.0
	通风设施	空调净化通排风系统、过滤装置及屏蔽设施。	38.0
	污水处理	废液收集管网及屏蔽、放射性废液衰变池系统。	63.0
	固废处理	放射性废物存储桶及暂存库。	2.6
辐射防护与安全培训和考核	辐射防护与安全培训和考核	利用现有 8 名辐射工作人员轮换上岗。	/
	个人防护用品	注射准备室与注射室之间配备屏蔽注射窗。 为核素配备铅手提箱、注射器防护套等。 为辐射工作人员和患者配备铅围脖、性腺围裙各 2 套、铅围裙 3 套。	2.25

续表1.7

环保投资一览表

项目	具体措施		投资(万元)
人员防护配备	个人剂量监测	每位辐射工作人员配备 1 个热释光个人剂量计。	/
监测仪器	监测仪器	辐射巡检仪（配表面污染探头）1 台。 环境检测仪：1 台。	3.0
辐射管理	辐射监测	日常自主监测及委托有资质单位监测。	3.0
	环保手续	环境影响评价及竣工环境保护验收。	30.0
	日常管理	日常档案管理、年度评估报告上报等。	/
	辐射安全管理制度	根据核技术利用情况，完善辐射安全管理制度等。	/
合 计			398.85

表 2 放射源

序号	核素名称	活度 (Bq) ×枚数	类别	出厂时间	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	<sup>90</sup> Sr	7.4×10 <sup>9</sup> ×1	V	1964.1.1	使用	敷贴器	医技楼四层	源库	放射源编码：0064SR133055 环评批复：山西省环境保护局 2009 年 6 月 2 日 验收文件：晋环函〔2015〕123 号
2	<sup>68</sup> Ge	3.5×10 <sup>6</sup> ×1	V	2018.7.31	使用	校正源	医技楼四层	贮存在源库	放射源编码：TR18GE001425 备案号：201714010600000014
3	<sup>68</sup> Ge	5.5×10 <sup>7</sup> ×2	V	2021.4.15	使用	校正源	医技楼四层	贮存在源库	放射源编码：US21GE000965 放射源编码：US21GE000975 备案号：201714010600000014
4	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> ×1	III	2020.6.20	使用	治疗	二号住院楼一层放疗科后装机房	后装机房后装机组头内	放射源编码：NL20IR002613 环评批复： 晋环审批函〔2018〕591 号 2020.11 自主验收（委托技术机构）
5	<sup>57</sup> Co	4.44×10 <sup>8</sup> ×1	V	/	使用	校准源	5 号楼二层 D-SPECT 机房	铅罐内/放射源储存柜内	备案号：202114010600000018 已取得辐射安全许可证，尚未使用
6	<sup>68</sup> Ge	1.11×10 <sup>8</sup> ×1 枚	V	/	使用	校准源	综合实验楼一层 PET/MR 机房	防磁铅桶内/源库	本次非密封放射性物质使用场所校准源 备案号：202214010600000047
7	<sup>68</sup> Ge	5.5×10 <sup>7</sup> ×4 枚	V	/	使用	校正源	综合实验楼一层 PET/MR 机房	铅桶内/源库	

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

表 3 非密封放射性物质:

序号	核素名称	理化性质	活动种类	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	贮存方式与地点	备注
1	<sup>131</sup> I	液体	使用	2.78×10 <sup>10</sup>	2.78×10 <sup>9</sup>	2.78×10 <sup>12</sup>	诊断/治疗	简单	医技楼四层, 铅罐内/源库	环评批复: 山西省环境保护局 2009 年 6 月 2 日 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
2	<sup>99</sup> Mo- <sup>99m</sup> Tc	液体	使用	1.85×10 <sup>10</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>	2.78×10 <sup>12</sup>	诊断	很简单	医技楼四层, 铅罐内/母牛发生器室	
3	<sup>125</sup> I	液体	使用	2.96×10 <sup>4</sup>	2.96×10 <sup>2</sup>	7.4×10 <sup>4</sup>	诊断	很简单	医技楼四层, 源库	环评批复: 晋环辐审 (2010) 037 号 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
4	<sup>153</sup> Sm	液体	使用	5.55×10 <sup>8</sup>	5.55×10 <sup>6</sup>	2.66×10 <sup>10</sup>	治疗	很简单	医技楼四层, 源库	环评批复: 山西省环境保护局 2009 年 6 月 2 日 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
5	<sup>89</sup> Sr	液体	使用	2.96×10 <sup>8</sup>	2.96×10 <sup>6</sup>	7.4×10 <sup>10</sup>	治疗	很简单	医技楼四层, 源库	
6	<sup>18</sup> F	液体	使用	5.55×10 <sup>10</sup>	5.55×10 <sup>7</sup>	1.11×10 <sup>12</sup>	诊断	很简单	医技楼负一层, 回旋加速器热室	环评批复: 晋环辐审 (2010) 037 号 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
7	<sup>11</sup> C	液体	使用	1.48×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>7</sup>	3.55×10 <sup>11</sup>	诊断	很简单	医技楼负一层, 回旋加速器热室	
8	<sup>15</sup> O	液体	使用	3.70×10 <sup>10</sup>	3.7×10 <sup>7</sup>	4.44×10 <sup>11</sup>	诊断	很简单	医技楼负一层, 回旋加速器热室	
9	<sup>13</sup> N	液体	使用	1.11×10 <sup>10</sup>	1.11×10 <sup>7</sup>	1.33×10 <sup>11</sup>	诊断	很简单	医技楼负一层, 回旋加速器热室	
10	<sup>125</sup> I 粒籽源	固体	使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>6</sup>	7.4×10 <sup>11</sup>	治疗	很简单	医技楼四层, 源库	2018 年 8 月安全分析报告 2019 年 10 月自主验收
11	<sup>68</sup> Ga	液体	使用	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>6</sup>	1.85×10 <sup>11</sup>	诊断	很简单	医技楼四层, 源库	2018 年 8 月安全分析报告, 已取得辐射安全许可证, 尚未使用
12	<sup>177</sup> Lu	液体	使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>7</sup>	7.4×10 <sup>11</sup>	诊断/治疗	很简单	医技楼四层, 源库	
13	<sup>82</sup> Sr- <sup>82</sup> Rb	液体	使用	3.7×10 <sup>9</sup>	3.7×10 <sup>6</sup>	3.7×10 <sup>11</sup>	诊断	很简单	医技楼四层, 源库	

序号	核素名称	理化性质	活动种类	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	贮存方式与地点	备注
14	<sup>64</sup> Cu	液体	使用	2.96×10 <sup>9</sup>	2.96×10 <sup>6</sup>	1.42×10 <sup>11</sup>	诊断/治疗	很简单	医技楼四层, 源库	2018年8月安全分析报告, 已取得辐射安全许可证, 尚未使用
15	<sup>223</sup> Ra	液体	使用	1.11×10 <sup>7</sup>	1.11×10 <sup>7</sup>	1.11×10 <sup>9</sup>	治疗	很简单	医技楼四层, 源库	
16	<sup>90</sup> Y	液体	使用	7.40×10 <sup>8</sup>	7.40×10 <sup>7</sup>	7.40×10 <sup>11</sup>	治疗	很简单	医技楼四层, 源库	2021年8月安全分析报告 已取得辐射安全许可证, 尚未使用
17	<sup>99m</sup> Tc	液体	使用	2.1×10 <sup>10</sup>	2.1×10 <sup>7</sup>	6.3×10 <sup>12</sup>	诊断	很简单	核医学科5号住院楼二层, 注射准备间暂存柜	环评批复: 晋环审批函 (2021) 512号 已取得辐射安全许可证, 尚未验收
18	<sup>18</sup> F	液体	使用	3.7×10 <sup>9</sup>	3.7×10 <sup>6</sup>	9.25×10 <sup>12</sup>	诊断	很简单	综合实验楼一层, 源库储存柜内	本次新增场所环评

备注: 本项目 <sup>18</sup>F: 每人最大用量 3.70×10<sup>8</sup>Bq (10mCi), 日最大诊断人数 10 人, 年最大诊断人数 2500 人 (每周5天, 年50周)。

注: 日等效最大操作量和操作方式见表 9.1 和 9.2。

**表 4 射线装置**

(一) 加速器: 包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1	HM-10	质子	10	制备正电子发射计算机断层显像装置 (PET) 放射性药物的加速器	医技楼负一层: 回旋加速器室	环评批复: 晋环辐审 (2010) 037号 验收文件: 晋环函 (2015) 123号
2	医用直线加速器	II	1	Clinac23IX	电子	15	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器 (治疗)	医技楼负一层: 放射治疗室	

(二) X 射线机, 本次为医用诊断和治疗 X 射线机。

序号	名称	类别	数量	型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	模拟定位机	III	1	SL-IE	150	1000	放射治疗模拟定位装置 (诊断)	医技楼负一层: 放疗模拟室	环评批复: 晋环辐审 (2010) 037 号 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
2	PET-CT	III	1	GE Discovery VCT	140	800	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (诊断)	医技楼负一层: PET/CT (控制室 1)	
3	骨密度仪	III	1	Discovery-Wi	140	10	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	门诊楼一层: 骨密度室	山西省环境保护局 2009 年 6 月 2 日 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
4	普通照相机	III	1	Philips	150	900		门诊楼一层: 摄影 1 室	
5	64 排 CT 机	III	1	Lightspeed	140	714	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (诊断)	医技楼二层: CT 扫描 1 室	
6	DR 双驱系统摄像机	III	1	TH/VS	150	800	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	医技楼三层: 摄影 2 室	
7	心血管造影机	II	1	AXIOM Artis	150	1000	血管造影用 X 射线装置 (诊断/治疗)	医技楼五层手术室 1	
8	血管造影机	II	1	Philips FD-20	125	1250		医技楼六层 DSA1	
9	岛津胃肠机	III	1	Safire 17	150	1000	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	医技楼三层: 造影室	
10	体外冲击波治疗仪	III	1	HK.ESWO-A111	100	50	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	门诊三层: 骨科体外冲击波治疗室	环评批复: 晋环函 (2013) 1239 号 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
11	G 型臂	III	1	BIPLANAR	110	10	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	1 号楼 3 层手术室移动使用	
12	普通照相机 (移动)	III	1	MVX-100J	150	160	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	5 号楼三层移动使用	
13	口腔全景 X 机	III	1	OPTHORALIX9200	80	12	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	门诊楼四层: 口腔放射室	

序号	名称	类别	数量	型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
14	移动式 X 机	III	1	GE OEC.Fluorostor	110	3	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	1 号楼 3 层手术室移动使用	环评批复: 晋环函 (2013) 1239 号 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
15	CT	III	1	IQon SpectralCT	140	1000	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (诊断)	博爱医院一层 CT 室(山大一院管理)	备案号: 201914010600000012 已领取辐射安全许可证
16	SPECT-CT	III	1	Symbia T16 SIEMENS	130	345	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (诊断)	医技楼四层: SPECT/CT 室 2	环评批复: 晋环函 (2013) 428 号 验收文件: 晋环函 (2015) 123 号
17	乳腺 X 射线摄影系统	III	1	Selenia Dimensions	49	200	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	医技楼三层: 乳腺摄影室	环评批复: 太原市环境保护局 2016 年 7 月 1 日 验收文件: 并环辐验 (2017) 005 号
18	数字化医用 X 线摄影系统 (双板)	III	1	VX3733-SYS	150	800		医技楼三层: 摄影 1 室	
19	数字化医用 X 线摄影系统 (单板)	III	1	VX3733-SYS	150	800		5 号住院楼三层: 放射室	
20	数字胃肠造影	III	1	Uni-Vision	150	800		门诊一层: 造影室	
21	移动式数字摄影 X 线系统	III	1	MUX-200D	133	200		一号楼普放	
22	医用 X 射线摄影系统	III	1	CCD-DR	150	630		门诊三层: 骨科照相	
23	泌尿检查 X 射线系统	III	1	UROSKOP Omnia	100	650		1 号楼十二层: 泌尿外科诊疗室	

序号	名称	类别	数量	型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
24	口腔 CT	III	1	NewtomVGI	110	20	口腔（牙科）X 射线装置（诊断）	门诊楼四层：口腔放射室	环评批复：太原市环境保护局 2016 年 7 月 1 日
25	体外冲击波碎石机	III	1	Duet Magna	110	9	医用诊断 X 射线装置（诊断）	门诊楼七层：泌尿外科碎石中心	验收文件：并环辐验（2017） 005 号
26	PET-CT	III	1	Discovery MI Columbia	140	600	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置（诊断）	医技楼负一层：PET/CT（控制室 2）	备案号：201714010600000024 2018 年 8 月自主验收
27	SOMATOM Force CT	III	1	SOMATOM Force	150	1300×2		5 号住院楼一层：CT 扫描室	备案号：201714010600000004 2018 年 8 月自主验收
28	血管造影机	II	1	UNIQ FD10	125	1250	血管造影用 X 射线装置（诊断/治疗）	门诊一楼心导管室手术间	环评批复： 晋环审批函（2018）591 号 2019 年 10 月自主验收
29	血管造影机	II	1	UNIQ FD20	125	1250		医技楼五层手术室 2	
30	双能 X 线骨密度仪	III	1	ProdiHy Advance	70	3	医用诊断 X 射线装置（诊断）	五号住院楼三层骨密度室	备案号：201814010600000062 2019 年 10 月自主验收
31	C 形臂	III	1	BV Pulsera	125	180		医技楼七层：消化内镜 ERCP 治疗室	备案号：201814010600000078 2019 年 10 月自主验收
32	数字化摄影 DR	III	1	Digital Diahnost 3	150	800		门诊楼一层：摄影 2 室	备案号：201814010600000062 2019 年 10 月自主验收
33	移动式 C 形臂 X 射线机	III	1	GE OEC Flurostar Compact D	110	20		日间手术中心二层：手术间 1	
34	移动 DR	III	1	YDR-YD-4	150	500		1 号住院部一层普放移动使用	
35	双能 X 线骨密度仪	III	1	GE LUNAR Prodig	140	10		门诊五楼内分泌科（骨密度室）	备案号：201814010600000078 已领取辐射安全许可证，拟购
36	医用血管造影 X 射线系统	II	1	UNIQ FD20	125	1000	血管造影用 X 射线装置（诊断）	医技楼六层：DSA2	环评批复：并环辐许（2019） 0127 号 2021 年 3 月自主验收

序号	名称	类别	数量	型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
37	X 射线计算机体层摄影系统	III	1	BrillianceCT BigBore	140	500	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (诊断)	医技楼六层: CT 室	备案号: 201914010600000057 已领取辐射安全许可证
38	SBR 3D-2 口腔 X 射线计算机体层摄影系统	III	1	SBR 3D-2	90	10	口腔 (牙科) X 射线装置 (诊断)	门诊四楼: 耳鼻喉头颈外科 CT 室	备案号: 201914010600000090 已领取辐射安全许可证
39	XHCT-16 型大孔径螺旋 CT	III	1	XHCT-16	140	500	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (诊断)	二号楼一层: 放疗科大孔径螺旋 CT 机房	备案号: 201914010600000090 已领取辐射安全许可证
40	Neuviz 128CT	III	1	Neuviz128	140	430		感染科心血管研究所楼一层 CT 室	备案号: 202014010600000036 已领取辐射安全许可证
41	血管造影 X 射线系统	II	1	UNIQ FD20	125	1000	血管造影用 X 射线装置 (诊断/治疗)	一号住院楼二层: 复合手术室	环评批复: 并审生辐评 (2020) 5 号 2021 年 3 月自主验收
42	移动式 c 型臂 x 射线机	III	1	Cios Spin	125	120	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	医技楼七层呼吸科气管镜室	备案号: 202014010600000077 已领取辐射安全许可证
43	移动式 x 射线机	III	1	BIPLANAR500e	110	8		1 号住院楼 3 层手术室	
44	数字化口内牙片机系统	III	1	HELIODENT PLUS D3507	70	7	口腔 (牙科) X 射线装置 (诊断)	门诊楼四层: 牙片室	
45	CT	III	1	Revolution CT	140	740	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置 (诊断)	门诊楼一层急诊 CT 室	备案号: 202214010600000015 已领取辐射安全许可证
46	数字 X 射线透视摄影系统	III	1	SONIALVISION SMIT	150	800	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	医技楼三层: 造影 2 室	
47	数字 X 射线摄影系统	III	1	Digital Diagnost C90	150	1000	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	医技楼三层: 造影 3 室	
48	血管造影机	II	1	FD10	150	1250	血管造影用 X 射线装置 (诊断/治疗)	8 号住院楼九层: 心脏介入室	2022 年 3 月安全分析报告 已领取辐射安全许可证

序号	名称	类别	数量	型号	管电压 (kV)	管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
49	普通 X 光线机	III	1	Multix Fusion	150	800	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	8 号住院楼一层: DR 机房	备案号: 202214010600000010 已领取辐射安全许可证
50	数字胃肠机	III	1	Wincscopele ssartex8	150	800	医用诊断 X 射线装置 (诊断)	8 号住院楼一层: 胃肠造影室	环评批复: 晋环辐审 (2010) 057 号 验收文件: 并辐验收 (2011) 001 号 2016 年变更已领取辐射安全许可证
51	医用血管造影 X 射线系统	II	1	Azurion7M20	125	1000	血管造影用 X 射线装置 (诊断/治疗)	急诊一层急诊医学中心: 创伤复苏单元	环评批复: 晋环审批函 (2021) 512 号 已领取辐射安全许可证, 目前尚未验收

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源。

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	

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/kg	年排放总量/kg	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	$^{18}\text{F}$	/	20kg	240kg	暂存期超过 30 天且包装表面剂量 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$	收集于放射性废物桶中,转移至污物间暂存衰变。	暂存期超过 30 天且监测达到标准后按医疗废物处理。
废旧过滤材料及失效过滤器	固体	$^{18}\text{F}$	/	/	6kg/a			
含放射性核素的废液	液体	$^{18}\text{F}$	/	/	/	暂存期超过 30 天或总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	衰变池	暂存期超过 30 天或检测总 $\beta$ 放射性活度浓度小于 $10\text{Bq/L}$ 后排入医院废水处理站。
含放射性核素的废气	气体	$^{18}\text{F}$	/	/	/	/	/	微量废气经高效过滤净化装置后排至楼顶大气。
密封放射源	固体	$^{68}\text{Ge}$	/	/	/	/	校准源库	厂家回收或送山西省城市放射性废物库。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为  $\text{mg/kg}$ ，气态为  $\text{mg/m}^3$ ；年排放总量用  $\text{kg}$ 。

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（ $\text{Bq/L}$  或  $\text{Bq/kg}$  或  $\text{Bq/m}^3$ ）和活度（ $\text{Bq}$ ）。

**表 6 评价依据**

<p><b>法规文件</b></p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日起施行）；</p> <p>(4) 《放射性废物安全管理条例》2012 年 3 月；</p> <p>(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）；</p> <p>(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）；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(10) 《放射源分类办法》环保总局 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日；</p> <p>(11) 《关于发布放射性废物分类的公告》环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(12) 《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；</p> <p>(13) 《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；</p> <p>(14) 《太原市辐射事故应急预案》太原市人民政府办公室，并政办发〔2022〕9 号，2022 年 2 月 16 日。</p>
<p><b>技术标准</b></p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(2) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(3) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(5) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(6) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(8) 《表面污染测定第 1 部分β发射体（Eβmax0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）；</p> <p>(9) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p>

<p>技术标准</p>	<p>(10) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(11) 《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>
<p>其他</p>	<p>(1) 医院辐射环境影响评价委托合同；</p> <p>(2) 医院提供的辐射防护设计图及电气设计图；</p> <p>(3) 辐射安全手册—潘自强-2011.11；</p> <p>(4) 《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，以项目实体边界为中心，丙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围。根据现场实地勘查及项目特点确定本项目评价范围为：新增非密封放射性物质工作场所项目四周实体边界为中心半径 50m 的范围。评价范围见图 7.1。

### 7.2 保护目标

山西医科大学第一医院位于迎泽区解放南路 85 号，医院东临解放南路，南临康乐街，西临山西医科大学家属院，北临文源巷。

新增核医学科位于该院综合实验楼一层，场所北侧紧邻为医院物流中心、采供楼及快餐店，50m 范围内为文源巷道路；西侧紧邻为医院收发室，50m 范围内为医院家属院住宅楼；东侧紧邻医院内部道路，东北侧 8m 为医技楼，东南侧 5m 为洗车房，50m 范围内为配电楼及车队辅助楼；南侧紧邻为医院室外空地，50m 范围内为锅炉房、2 号住院楼及肿瘤诊疗中心、垃圾站；本项目楼上二、三层拟为病理科（现为食堂，拟搬迁），楼上四至六层为病理科；楼下为土层。50m 区域内分布人员主要是医院家属院住宅楼居民、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、院外公众。本项目评价范围内主要环境保护目标见图 7.1 及表 7.1。



图 7.1

本项目评价范围及环境保护目标分布图

表 7.1

本项目评价范围内环境保护目标一览表

工作场所	方位	距离	周围建筑、场所	规模	保护目标/人数
核医学科	东北侧	8m	医技楼	7 层建筑; 28 间/层	辐射工作人员、 工作人员/120 公众成员/80
	东南侧	5m	洗车房	1 层建筑	工作人员/2
		16m	配电楼	2 层建筑; 7 间/层	工作人员/2
		27m	车队辅助楼	4 层建筑; 12 间/层	工作人员/40
	南侧	8m	锅炉房	2 层建筑	工作人员/10
		48m	2 号住院楼 及肿瘤诊疗中心	4 层建筑; 30 间/层	工作人员/120 公众成员/80
		47m	垃圾站	2 层建筑	工作人员/2
	西侧	紧邻	收发室	1 层建筑	工作人员/2
		19m	医院家属院 1 号住宅楼	6 层 8 个单元建筑; 2 户/单元	公众成员/300
		13m	医院家属院 2 号住宅楼	6 层 8 个单元建筑; 2 户/单元	公众成员/300
		17m	医院家属院 4 号住宅楼	6 层 8 个单元建筑; 2 户/单元	公众成员/300
		44m	医院家属院 7 号住宅楼	4 层 2 个单元建筑; 2 户/单元	公众成员/60
	北侧	2.5m	物流中心	3 层建筑; 7 间/层	工作人员/30 公众成员/10
		1.5m	采供点楼	2 层建筑; 6 间/层	工作人员/10
		4m	快餐店	1 层建筑	公众成员/10
	楼上二层	5m	病理科 (拟用, 现为食堂拟搬迁)	/	工作人员/12 公众成员/10
	楼上三层	10m	病理科 (拟用, 现为食堂拟搬迁)	/	工作人员/12 公众成员/10
	楼上四层	15m	病理科	10 间实验室或办公室	工作人员/12 公众成员/10
	楼上五层	15m	病理科	10 间实验室或办公室	工作人员/12 公众成员/10
	楼上六层	15m	病理科	10 间实验室或办公室	工作人员/14 公众成员/10
工作场所内	0m	/	/	辐射工作人员/8 公众成员/10	

### 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)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020), 并按照辐射防护最优化原则, 项目职业人员、公众成员有效剂量约束值及周围剂量当量率等控制目标值见表 7.2。

表 7.2 本项目有效剂量约束值、剂量率控制目标值、表面污染控制水平等一览表

场所	项目名称		评价指标	
丙级核医学科	有效剂量约束值	职业人员 (本次核医学科工作人员为山西医科大学第一医院核医学科现有工作人员, 根据本项目辐射工作人员 2019 年度、2020 年度, 2021 年度连续 3 年个人剂量检测结果 (详见表 12.1), 个人剂量最大为 0.73mSv/a, 因此按照不同工作场所, 将辐射工作人员在山大一院原有核医学科场所和本项目场所受照的个人有效剂量约束值分别按照年有效剂量目标限值 5mSv/a 的 50%进行分配并约束控制。)	≤2.5mSv/a	
		公众成员	≤0.1mSv/a	
	核医学科控制区 (PET/MR 检查室等放射功能室) 实体屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值		<2.5μSv/h	
	β表面污染控制水平	(工作台、设备、墙壁、地面) 控制区		40Bq/cm <sup>2</sup>
		(工作台、设备、墙壁、地面) 监督区		4.0Bq/cm <sup>2</sup>
		(工作服、手套、工作鞋) 控制区		4.0Bq/cm <sup>2</sup>
		(工作服、手套、工作鞋) 监督区		4.0Bq/cm <sup>2</sup>
		手、皮肤、内衣、工作袜		0.4Bq/cm <sup>2</sup>
	放射性固废	<p>(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<sup>2</sup>的, 可对废物清洁解控并作为医疗废物处理:</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>(2) 根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020), 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h, 质量不超过 20kg。废物包装盒外表面的污染控制水平: β&lt;0.4Bq/cm<sup>2</sup>。</p> <p>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。</p>		
		每袋废物 (重量≤20kg) 表面剂量率		≤0.1mSv/h
		废物包装盒外表面 (选取严格标准执行)		β<0.4 Bq/cm <sup>2</sup>
		<sup>18</sup> F	可作非放射性废物处理	免管浓度≤1×10 <sup>4</sup> Bq/kg
	放射性废液	对于核医学科诊断, 可设置推流式放射性废液衰变池。 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。或检测放射性废液总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L 后可排放。		
		<sup>18</sup> F	一次排放活度不超过	1ALImin (2.15×10 <sup>8</sup> Bq)
			月排放总活度不超过	10ALImin (2.15×10 <sup>9</sup> Bq)
总β放射性 (衰变池出口)		≤10Bq/L		
备注: 本次使用非密封放射性核素 <sup>18</sup> F 半衰期最长为 109.8min, 小于 24 小时。				

表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理位置

山西医科大学第一医院位于迎泽区解放南路 85 号，医院东临解放南路，南临康乐街，西临山西医科大学家属院，北临文源巷。地理位置见附图 1。

本次对本项目所在建筑物评价范围内的环境辐射剂量率、土壤放射性、大气放射性进行了监测。拟建项目核医学科废水不对外排放，本次不对项目评价范围地表水进行监测。

### 8.2 工作场所环境辐射剂量率现状监测

为评价本项目评价区的辐射环境质量，2022 年 7 月 4 日，由山西大地晋新环境科技研究院有限公司对本项目所在场所评价范围内环境 $\gamma$ 辐射剂量率、 $\beta$ 表面污染进行检测（见附件三）。

#### 8.2.1 监测内容

环境 $\gamma$ 辐射剂量率、 $\beta$ 表面污染。

#### 8.2.2 监测的环境条件及工况

环境温度：26℃；相对湿度：60%；天气：阴。

#### 8.2.3 监测仪器

仪器名称：辐射检测仪/环境级辐射探测 AT1117M/BDKG-11/BDPB-02（16722/1672216536/2）。

能量响应：50keV~3MeV；量程：10nGy/h~100 $\mu$ Gy/h。

能量响应：155keV~3.5MeV；量程：2.2 $\times 10^{-2}$ Bq/cm<sup>2</sup>~0.66 $\times 10^4$ Bq/cm<sup>2</sup>。

校准有效期：2021 年 8 月 25 日-2022 年 8 月 24 日（AT1117M/BDKG-11）；2021 年 8 月 27 日-2022 年 8 月 26 日（AT1117M/BDPB-02）。

检定机构：中国辐射防护研究院。

#### 8.2.4 监测依据

《环境 $\gamma$ 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。

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

#### 8.2.5 监测布点

本次对核医学科场所内中央及预设布点处、楼上及评价范围内可达区域内距地面 1m 高度进行环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率现状检测，对核医学科场所内中央及预设布点处距地面 10mm 高度处进行 $\beta$ 表面污染现状检测。检测布点详见检测报告中检测点位图。

#### 8.2.6 质量保证措施

- (1) 使用的仪器经中国辐射防护研究院检定，确保监测数据的准确、可靠。
- (2) 严格按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录，专人负责质量保证及核查检查工作。

### 8.2.7 评价区环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率现状评价

本项目评价范围内可到达场所环境 $\gamma$ 辐射剂量率及拟改建核医学科场所内 $\beta$ 表面污染检测结果见表 8.1~8.2。

表 8.1 本项目评价范围环境 $\gamma$ 辐射剂量率检测结果

序号	检测场所	检测结果 (nGy/h)	备注
1	拟改建核医学科中央（拟改建注射室）	81	
2	拟改建核医学科西侧（拟改建 PET/MR 检查室）	83	
3	拟改建核医学科北侧（拟改建医护走廊）	75	
4	拟改建核医学科东侧（拟改建注射前候诊室）	79	
5	拟改建核医学科南侧（拟改建病人走廊）	83	
6	拟改建核医学科场所楼上二层中央（现食堂大厅中央）	111	食堂拟搬迁
7	拟改建核医学科场所楼上三层门口（现食堂门口）	112	食堂拟搬迁
8	拟改建核医学科场所楼上四层步梯口（病理科门口）	107	
9	拟改建核医学科场所楼上五层步梯口（病理科门口）	98	
10	拟改建核医学科场所楼上六层步梯口（病理科门口）	115	
11	物流中心西侧	86	
12	医技楼南侧	73	
13	洗涤部北侧	68	
14	配电楼北侧	67	
15	车队辅助楼东侧	64	
16	肿瘤诊疗中心东侧	58	
17	2 号住院楼北侧	75	
18	垃圾站东北侧	73	
19	锅炉房西侧	52	
20	收发室西侧	56	
21	采供点楼及快餐店西侧	57	
22	医院家属院 1 号住宅楼东南侧	59	
23	医院家属院 2 号住宅楼东南侧	57	
24	医院家属院 4 号住宅楼东北侧	58	
25	医院家属院 7 号住宅楼东北侧	59	

表 8.2

本项目拟改建核医学科场所内 $\beta$ 表面污染检测结果

序号	监测点位	检测结果 (Bq/cm <sup>2</sup> )	备注
1	拟改建核医学科中央（拟改建注射室）距地面 10mm 处	0.12	/
2	拟改建核医学科西侧（拟改建 PET/MR 检查室）距地面 10mm 处	0.12	/
3	拟改建核医学科北侧（拟改建医护走廊）距地面 10mm 处	0.13	/
4	拟改建核医学科东侧（拟改建注射前候诊室）距地面 10mm 处	0.12	/
5	拟改建核医学科南侧（拟改建病人走廊）距地面 10mm 处	0.13	/

医院拟改建核医学科评价范围内可到达场所周围室内外环境 $\gamma$ 辐射剂量率检测结果在(52~115) nGy/h 之间，与太原市室内外天然 $\gamma$ 辐射剂量率本底水平（41.4~97.1）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）； $\beta$ 表面污染检测结果在（0.12~0.13）Bq/cm<sup>2</sup>之间，满足监督区 4.0Bq/cm<sup>2</sup>的要求限值。

### 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，2022 年 8 月 9 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评价范围内的土壤样品进行检测（见附件四）。

#### 8.3.1 监测内容

土壤中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 及本项目应用核素 <sup>18</sup>F 的分析。

#### 8.3.2 采样布点

布点方法：结合现场实际情况，在拟建核医学科周围有土壤裸露处进行采样，3 个采样点，采取 0~10cm 的表层土。

#### 8.3.3 土壤中应用核素检测结果

该院核医学科及评价范围内土壤中各应用核素检测结果见下表。

表 8.3 评价范围内土壤中放射性核素检测结果

序号	检测项目	分析结果 (Bq/kg)	备注
1	<sup>18</sup> F	<0.64	0.64Bq/kg 为探测下限
2	总 $\alpha$	347	/
3	总 $\beta$	737	/

由检测结果可知，采样土壤总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 分析测量值分别为 347Bq/kg、737Bq/kg，属于正常天然本底水平。采样土壤中核素 <sup>18</sup>F 低于探测下限。

### 8.4 评价区大气放射性现状监测

为评价本项目评价区大气放射性环境质量，2022 年 8 月 25 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的综合实验楼楼顶拟安装排气口附近进行大气采样检测（见附件五）。

#### 8.4.1 监测内容

大气中本项目应用核素  $^{18}\text{F}$  的分析。

#### 8.4.2 采样布点

布点位置：结合现场实际情况，在拟增场所核医学科所在医技综合楼楼顶拟安装排风口处进行采样。

#### 8.4.3 大气中应用核素监测结果

该院拟建核医学科及评价范围内大气中应用核素监测结果见下表。

表 8.4 评价范围内大气中放射性核素监测结果

序号	采样地点	分析结果 ( $\text{mBq}/\text{m}^3$ )	备注
1	$^{18}\text{F}$	$<1.9$	$1.9\text{mBq}/\text{m}^3$ 为探测下限

由检测结果可知，采样气溶胶  $^{18}\text{F}$  分析测量值  $<1.9\text{mBq}/\text{m}^3$ ，低于核素探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工艺设备和工艺分析

丙级核医学科开展工作的设备主要为 PET/MR。

核医学科工艺流程为：依托原有核医学科（医技楼）回旋加速器生产非密封放射性核素→依托原有核医学科（医技楼）放射性核素的药物热合成、分装→依托原有核医学科（医技楼）放射性核素药物的质控检测→依托原有核医学科（医技楼）应用药物放射性核素活度的测量→放射性药物输送（从原核医学科到本项目核医学科北侧物料传递窗口）→放射性药物暂存→放射性药物的注射→应用 PET/MR 进行扫描检查→成像后图像用于疾病的诊断。

9.1.1 核医学科辐射工作场所分级

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 GB18871 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。”

依据环办辐射函〔2016〕430 号《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》“满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：1、有相对独立、明确的监督区和控制区分；2、工艺流程连续完整；3、有相对独立的辐射防护措施。”

根据 GB18871 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：

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

核医学常用放射性核素毒性组别修正因子、核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A 选取。本次拟建核医学科增加使用核素毒性因子、操作方式、日等效操作量见表 9.1、表 9.2。

表 9.1 本项目使用放射性核素日等效操作量计算因子选取表

核素名称	毒性组别	毒性组别修正因子	活动类型	核素及状态	操作方式	操作方式修正因子
<sup>18</sup> F	低毒	0.01	医疗机构使用	<sup>18</sup> F	很简单操作	10

表 9.2 本项目使用的放射性同位素日最大等效操作量核算表

场所	核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性因子	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
PET/MR 检查室	<sup>18</sup> F	3.7E+8×10 人 =3.7E+9	0.01	很简单操作	10	3.7E+6	丙级

源库	$^{18}\text{F}$	$3.7\text{E}+8 \times 10 \text{ 人} = 3.7\text{E}+9$	0.01	很简单操作	10	$3.7\text{E}+6$	丙级
注射准备室	$^{18}\text{F}$	$3.7\text{E}+8 \times 10 \text{ 人} = 3.7\text{E}+9$	0.01	很简单操作	10	$3.7\text{E}+6$	
注射室	$^{18}\text{F}$	$3.7\text{E}+8 \times 10 \text{ 人} = 3.7\text{E}+9$	0.01	很简单操作	10	$3.7\text{E}+6$	
注射后候诊室	$^{18}\text{F}$	$3.7\text{E}+8 \times 10 \text{ 人} = 3.7\text{E}+9$	0.01	很简单操作	10	$3.7\text{E}+6$	
留观室	$^{18}\text{F}$	$3.7\text{E}+8 \times 10 \text{ 人} = 3.7\text{E}+9$	0.01	很简单操作	10	$3.7\text{E}+6$	
废物间	$^{18}\text{F}$	$3.7\text{E}+8 \times 10 \text{ 人} \times 1\% = 3.7\text{E}+7$	0.01	很简单操作	10	$3.7\text{E}+4$	
衰变间	$^{18}\text{F}$	$3.7\text{E}+8 \times 10 \text{ 人} \times 1\% = 3.7\text{E}+7$	0.01	很简单操作	10	$3.7\text{E}+4$	
注：甲级 $>4 \times 10^9\text{Bq}$ ；乙级 $2 \times 10^7\text{Bq} \sim 4 \times 10^9\text{Bq}$ ；丙级：豁免以上 $\sim 2 \times 10^7\text{Bq}$ 。综合各功能房间日等效最大操作量，本工作场所为丙级工作场所。							

### 9.1.2 PET/MR 显像诊断

#### 1、工作原理

PET 是正电子发射断层显像（Positron Emission Tomography）的英文缩写。它作为一种先进的核医学影像手段，对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势，被称为“生化显像”或“分子成像”，利用核素示踪原理，在分子水平上，通过动态、定量地监测人体内部的生化变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变。所以 PET 又称之为“生化显像”或“分子显像”。

MR 是一种生物磁自旋成像技术，利用原子核自旋运动特点，在外加磁场内，经射频脉冲激励后产生信号，用探测器检出并输入计算，经过处理转换成在屏幕上显示图像，可以直接做出横断面，冠状面，矢状面和各种斜面的体层图像。磁共振的优点，无电离辐射，对人体影响不大，组织分辨率高，无骨伪影。磁共振不足，检查时间长，空间分辨率低，对肺部的诊断有限。

PET/MR 为正电子发射计算机断层显像仪 PET 和核磁共振成像术 MR 两强结合一体化组合成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，同时具有 PET 和 MR 的检查功能，达到最大意义上的优势互补。

本项目 PET 设备应用的核素为  $^{18}\text{F}$ 。应用短半衰期核素  $^{18}\text{F}$ （正电子核素）为示踪剂， $^{18}\text{F}$ -FDG 可准确反映体内器官/组织的葡萄糖代谢水平，为疾病的诊断提供依据，是目前 PET 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（ $^{18}\text{F}$ -FDG）后，大多数肿瘤病灶会表现为对  $^{18}\text{F}$ -FDG 的高摄取，因此可应用  $^{18}\text{F}$ -FDG PET 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，从而正确指导床治疗决策。此外，通过对心肌、脑组织的  $^{18}\text{F}$ -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、诊断操作流程

预约登记→预约药物生产、分装→放射性药物输送→放射性药物暂存→患者注射→患者注射后候诊→显影扫描→患者留观或离开医院。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，确定用量及预约注射时间。

②预约药物生产、分装：根据患者数量向本医院医技楼原有核医学科预约所需使用的放射性药物数量及使用时间。依托原有核医学科辐射工作人员负责使用回旋加速器生产所需的放射性核素，放射性核素与药物在合成柜内合成放射性药物，并进行药物自动分装，辐射工作人员仅在使用时对分装好的药物进行药物活度的检测，按每位患者所需的剂量进行抽取于一次性注射器中，便于注射。

③放射性药物输送：本项目核医学科负责注射的辐射工作人员提前一定时间（如 5min）预约原有核医学科负责药物分装及质检的辐射工作人员，用铅防护手提盒盛装药物运送至本项目核医学科北侧物料传递窗口。

④放射性药物暂存：本项目核医学科辐射工作人员清点并接收药物，并将药物暂存于源库的放射性药品储存柜中，并及时做好注射准备。

⑤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/MR 注射窗口，辐射工作人员用铅防护手提盒取出准备好的药物通过注射窗口给患者注射（已备留置针），一次性注射的最大活度为 10mCi，注射操作时间 0.5min/人次。

⑥注射药后候诊：注射药后的受检者按提示进入 PET/MR 注射后候诊室候诊，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。

⑦扫描准备：患者根据提示进入 PET/MR 检查室，技师通过话筒及观察窗指导病人进行摆位，做好扫描前的各项准备。技师一般通过 PET/MR 检查室与控制室连接的观察窗及对讲设备指导患者摆位，特殊情况下需进入 PET/MR 检查室内现场指导摆位，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。

⑧PET/MR 扫描：技师进入 PET/MR 控制室，关闭 PET/MR 检查室的所有防护门，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。PET/MR 完成 1 名患者的全身扫描时间约 30~40min。

⑨患者留观或离开医院：扫描结束后，患者根据提示进入留观室留观或离开。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 5~10min。医生认为图像符合要求后，通过广播通知患者离开。

### 3、产污环节

使用核素  $^{18}\text{F}$  产生的正电子与周围物质湮没，能产生一对 $\gamma$ 光子，能量为 0.511MeV， $\gamma$ 射线是主要的污染因子。在注射以上放射性药物时，会对注射台、工作服和手套产生放射性沾污，会产生放射性固体废弃物。注射放射性药物的病人产生的排泄物和擦洗台面的废水属于放射性废水。因此，应用  $^{18}\text{F}$  核素药物在 PET/MR 下开展显像诊断污染因子主要有 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 表面污染。

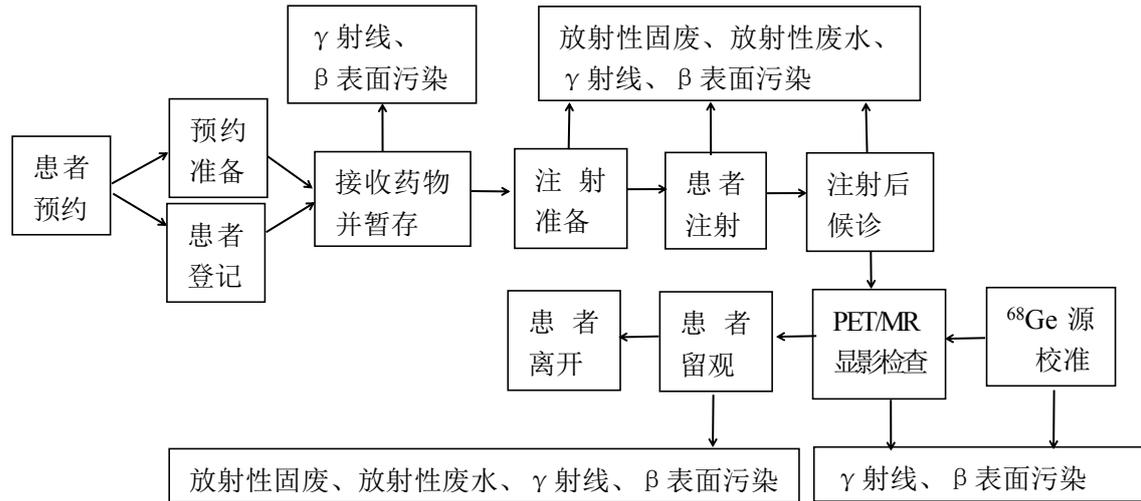


图 9.1 PET/MR 显像检查工作流程及产污环节图

### 4、PET/MR 用校准源

PET/MR 使用 5 枚  $^{68}\text{Ge}$  校准源，均属于 V 类放射源，半衰期为 288 天，衰变方式为 EC，衰变产生 X 射线能量为 9.3keV， $^{68}\text{Ge}$  衰变成  $^{68}\text{Ga}$  后再衰变产生正电子及 $\gamma$ 射线，PET/MR 的校验是利用  $^{68}\text{Ga}$  衰变产生的正电子湮没发出的 2 个 $\gamma$ 光子进行校验，PET/MR 的校验操作由计算机控制完成，人员不会近距离接触放射源，进行校验时  $^{68}\text{Ge}$  在仪器内部活动，校验完后放射源回到仪器内源屏蔽体内，由于放射源活度较小，经专用屏蔽体的屏蔽，仪器外基本无射线泄漏。校准源存放于源库中。

## 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拟用核医学科工作场所的屏蔽施工和室内装修，主要的污染物有：噪声、扬尘、废水、固体废物等。

#### (1) 噪声

本项目施工期施工内容主要在室内进行，施工噪声主要为拟用核医学科各放射功能用室屏蔽施工、室内装修等过程产生的装修设备噪声，这些噪声源噪声值在 75~90dB (A) 之间。室内装修施工噪声对周围声环境影响较小，应尽量避免夜间高噪声设备或高噪声工序施工，减少对本项目西侧医院家属区住宅楼的噪声影响。

## (2) 扬尘

本项目施工活动对环境空气的主要影响为扬尘。机房的屏蔽施工和装修等施工过程中，材料的搬运、刮家、打磨及场地清理过程中将会产生一定的粉尘污染。应依次对局部施工，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，生活污水经医院排污水管道排至市政污水管道，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

##### (1) $^{18}\text{F}$ 非密封放射性物质

PET/MR 诊断过程主要产生的放射性污染为诊断用放射性核素  $^{18}\text{F}$  产生的 $\beta$ 射线、 $\gamma$ 射线，涉及工序包括药物运输及暂存、注射、注射后候诊、PET/MR 扫描检查及留观等。 $^{18}\text{F}$  等核素发生的正电子和负电子相结合，能产生淹没 $\gamma$ 光子辐射，能量为 0.511MeV， $\gamma$ 射线是主要的污染因子，另外，在操作核素试剂的时候，会对工作台、工作服和手套产生放射性沾污，即 $\beta$ 表面污染。

##### (2) 校准放射源

PET/MR 使用 5 枚  $^{68}\text{Ge}$  校准源，均属于 V 类放射源，用于设备校准，以使图像解剖定位更加准确，改善对比度，消除图像畸变，使得深部病灶显示更加清楚。 $^{68}\text{Ge}$  半衰期为 288 天，衰变方式为 EC，衰变产生 X 射线能量为 9.3keV， $^{68}\text{Ge}$  衰变成  $^{68}\text{Ga}$  后再衰变产生正电子及 $\gamma$ 射线。

校验操作由计算机完成，对工作人员造成外照射很小。由于其活度低且在屏蔽状态下使用，正常情况下相对于非密封核素而言，其外照射危害可以忽略。密封放射源带有屏蔽容器，校准源平常储存于核医学科源库，根据工作需要，由辐射工作人员从源库取出用于设备性能的校准，校准完后归还到源库储存。使用过程中可能产生以下影响：

A.正常工况：由于放射源是密封源，源活性物质也不会泄漏，因此在正常情况下， $\gamma$ 射线将是对人体产生主要影响的外照射，而无放射性“三废”排放。废放射源交由放射源生产单位回收。

B.事故工况：

①放射源丢失或被盗，屏蔽罐被打开，对公众产生外照射。

②外力撞击导致放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

## 2、放射性固体废物

A.PET/MR 区放射性药物注射产生的注射器、棉签、试管、手套等，收集于放射性废物桶中，转移至废物间暂存衰变。

B.通排风系统更换下的废过滤装置及活性炭或其他过滤材料，收集转移至废物间暂存衰变。

C.报废的密封校准放射源由厂家回收或交山西省城市放射性废物库。

## 3、放射性废水

本项目 PET/MR 工作场所产生放射性废水主要来源是工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、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冲洗排便用水，上述过程产生的辐射工作场所清洁废液及就诊病人清洗排泄废水均排入衰变池，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

本项目放射性药品操作工作场所中设置通排风系统，并在 PET/MR 检查室设置独立的通排风系统。在排风管道上安装有过滤装置，有效的过滤及吸附废气中的有害微粒，达到气体排放要求，不会对周围环境造成明显危害。

### 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。

本项目营运期产生的主要污染物见表 9.3。

表 9.3 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。
	固体废物	废药瓶、注射器、棉签、棉球、手套等放射性废物；报废的校准放射源。
	废水	病人排泄物；放射性药品操作过程的放射性去污洗涤废液。
	废气	给药过程中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

<p><b>10.1 项目安全设施</b></p> <p><b>10.1.1 项目选址合理性</b></p> <p>1、医院外环境关系</p> <p>本项目选址位于医院西北侧现有综合实验楼一层。根据现场踏勘，医院东侧为隔解放南路与迎泽公园毗邻，南侧为康乐街，西侧为医院家属院，北侧为文源巷。</p> <p>2、项目外环境关系</p> <p>本次拟新增核医学科位于医院西北侧的综合实验楼一层（目前为空闲场地）。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，项目评价范围内环境保护目标主要分布有院内医技楼、配电楼、车队辅助楼、洗车房、锅炉房、肿瘤诊疗中心、2 号住院楼、垃圾站、医院家属院住宅楼、收发室、物流中心、采供点楼及快餐店、综合实验楼二层以上楼层病理科的工作人员、公众人员，以及本项目北侧医院外部文源巷道路上的公众人员。</p> <p>3、选址合理性分析</p> <p>本次拟新增核医学科位于医院西北侧的综合实验楼一层（目前为空闲场地），不新增用地。</p> <p>①与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求符合性分析</p> <p>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</p> <p>表 10.1 选址标准要求与实际对比符合性分析</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>标准要求</th> <th>项目实际情况</th> <th>结果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>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。</td> <td>本项目位于综合实验楼一层，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。</td> <td>符合</td> </tr> <tr> <td>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。</td> <td>根据现场踏勘，本项目不毗邻产科、儿科等部门，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。现场踏勘时本项目楼上二层、三层现状为食堂，根据建设单位介绍及其提供的设计资料，上述二、三层食堂拟搬迁，拟改造为病理科实验室。</td> <td>符合</td> </tr> <tr> <td>核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。</td> <td>本项目设置独立排风系统，且排风管道引至综合实验楼楼顶南北两侧的中部进行排放。</td> <td>符合</td> </tr> </tbody> </table> <p>②与周边环境相容性</p> <p>本项目核医学科产生的放射性废液经新建衰变池衰变处理后排入医院污水处理站处理后排入</p>			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。	本项目位于综合实验楼一层，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。现场踏勘时本项目楼上二层、三层现状为食堂，根据建设单位介绍及其提供的设计资料，上述二、三层食堂拟搬迁，拟改造为病理科实验室。	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，且排风管道引至综合实验楼楼顶南北两侧的中部进行排放。	符合
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。	本项目位于综合实验楼一层，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。现场踏勘时本项目楼上二层、三层现状为食堂，根据建设单位介绍及其提供的设计资料，上述二、三层食堂拟搬迁，拟改造为病理科实验室。	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，且排风管道引至综合实验楼楼顶南北两侧的中部进行排放。	符合												

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经过滤后引至本建筑物楼顶进行排放，不会对周围大气产生明显影响；项目产生的放射性废物收集暂存于废物间暂存后，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；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；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。

#### 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，与楼上病理科非辐射工作场所的工作人员和公众成员有不同的出入口。病理科公众人员从综合实验楼一层东侧南门进入前室，由电梯或楼梯间步梯出入楼上病理科；病理科工作人员从综合实验楼一层南侧西门进入前室，由电梯或楼梯间步梯出入楼上病理科。

#### 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、儿科等部门（现场踏勘时本项目楼上二层、三层现状为食堂，根据建设单位介绍及其提供的设计资料，上述二三层食堂拟搬迁，拟改造为病理科实验室），避开了人群较集中的门诊大楼、收费处等人群稠密区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求。本项目选址合理。

### 10.1.2 项目布局

#### 1、项目平面布置

本项目核医学科位于医院西北侧的综合实验楼一层（目前为空闲场地）。诊疗场所包括源库、注射准备室、注射室、注射后候诊室、废物间、病人卫生间、PET/MR 检查室及控制室、留观室、衰变间等。核医学科平面布置图见图 10.1（详见附件 5）。

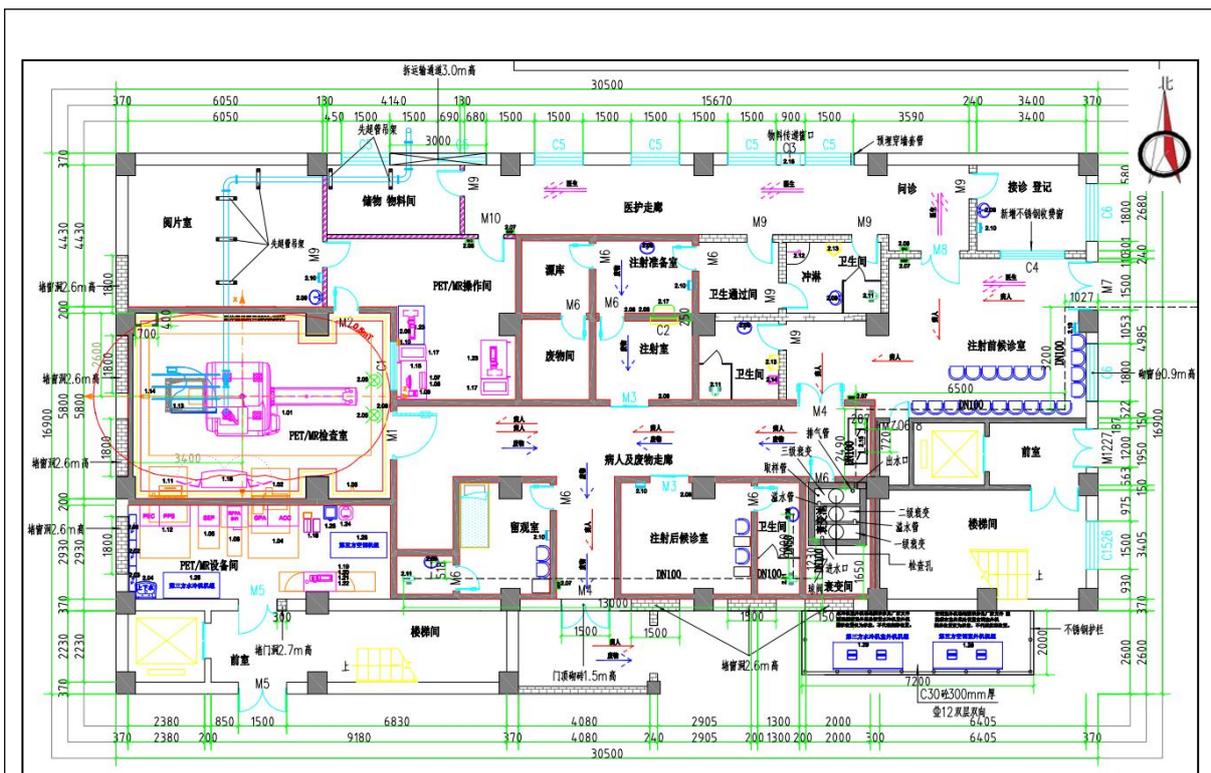


图 10.1 综合实验楼一层拟新增核医学科平面布置图

## 2、辐射防护分区

医院拟将核医学科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。本次将核医学科源库、注射准备室、注射室、注射后候诊室、废物间、病人卫生间、病人通道、PET/MR 检查室、留观室、衰变间等房间划为控制区（红色区域），采取专门的防护手段和措施，以便在正常工作条件下控制正常照射或防止污染扩散，以及防止潜在照射或限制其程度。将医师卫生通过间及卫生间、卫生间、医护走廊、PET/MR 控制室、PET/MR 设备间、阅片室、注射前候诊室等房间划为监督区（绿色区域），该区域即使通常不需要采取非专门防护措施或安全手段，也要对职业照射情况不断进行审查。本项目辐射防护分区见图 10.2（详见附图 6）。

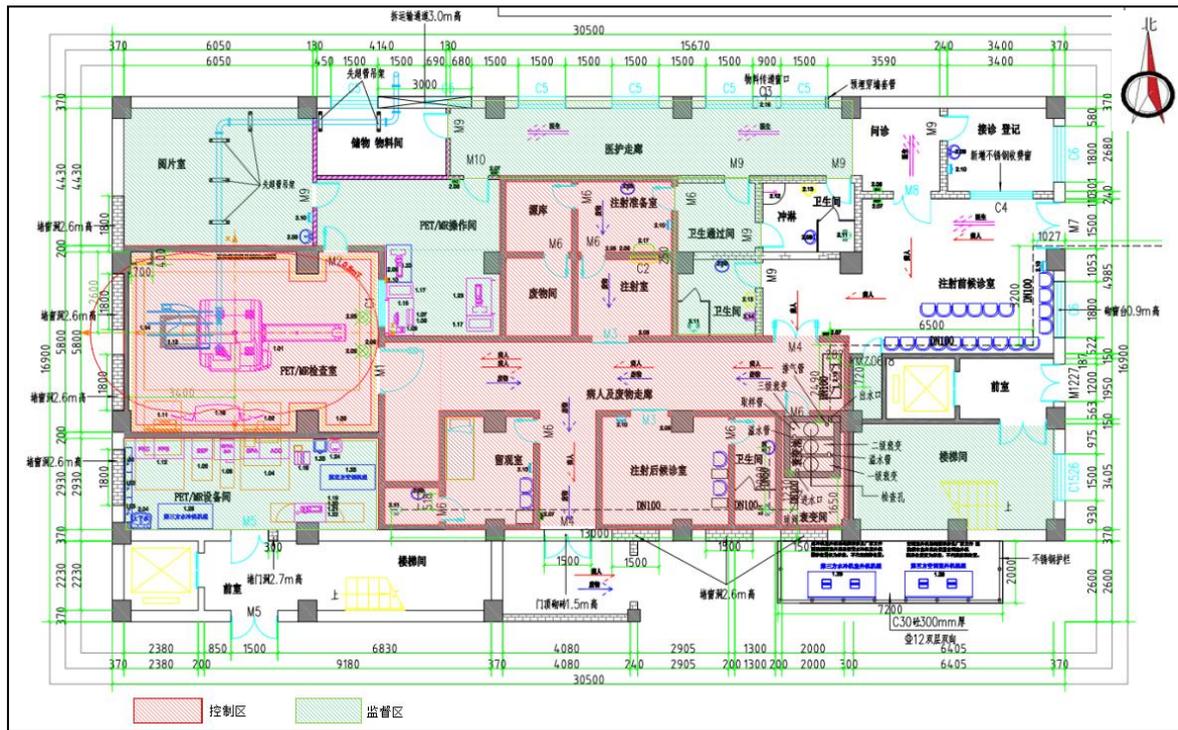


图 10.2 综合实验楼一层拟新增核医学科辐射分区图

### 3、人流和物流路径规划

核医学科人流、物流见图 10.3（详见附件 7）。

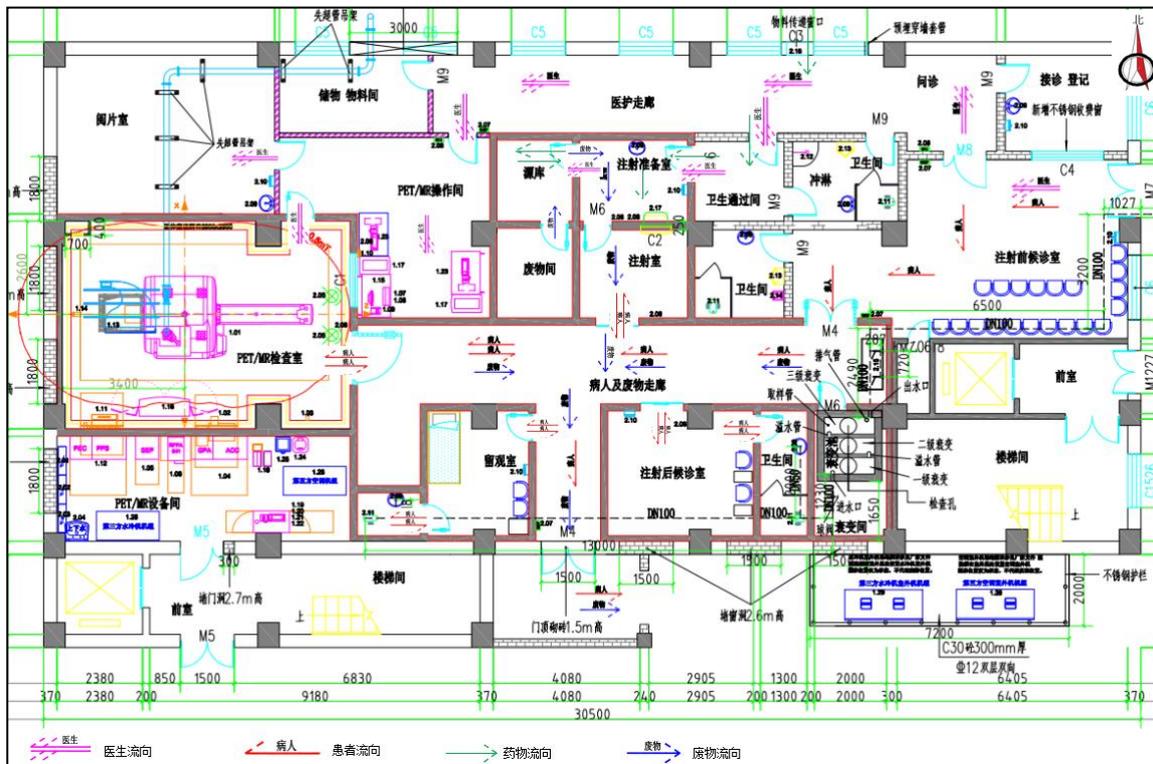


图 10.3 综合实验楼一层拟新增核医学科人流、物流路径图

为减少交叉污染及满足《核医学放射防护要求》GBZ120-2020 的 5.1.6 的要求，该核医学科设置了单独的医生通道和病人通道，且通道不交叉。

医生通道：

核医学科东墙北门（无放射性）→注射前候诊室北侧医生入口（门禁系统）→医护走廊→

→卫生通过间→注射准备室→源库→原路返回。  
→PET/MR 控制室→PET/MR 检查室→阅片室→原路返回。

另外，医生通过核医学科南墙西门医生专用通道进入 PET/MR 设备间。

病人通道：

核医学科东墙北门（无放射性）→注射前候诊室南侧病人入口（门禁系统，单向门）→病人及废物走廊→注射室→注射后候诊室（含患者卫生间）→PET/MR 检查室→留观室（含患者卫生间）→核医学科南墙中门（门禁系统，单向门）→室外。

药物通道：

核医学科北墙物料传递窗口→医护走廊→卫生通过间→注射准备室→源库。

废物通道：

废物间→源库→注射准备室→注射室→病人及废物走廊→核医学科南墙中门（门禁系统，单向门）→室外。为防止病人与放射性污物交叉，医院采取错峰运输的方法（如夜间运送污物）便于放射性废物的运送和处理。

### 3、项目布局小结

本项目辐射工作场所两区划分明确。项目合理设置辐射工作人员路径、病患路径、放射性药物路径及放射性废物流出路径，可有效避免交叉影响，路径设计合理可行。项目平面布局既满足放射诊疗工作要求，又有利于辐射防护，本项目布局合理。

#### 10.1.3 辐射屏蔽及相邻场所情况

PET/MR 检查室及控制区内其他功能房间均进行了屏蔽防护设计，防护门与墙体连接处进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。核医学科相关场所屏蔽情况见表 10.2（详见附图 5）。

表 10.2

丙级非密封放射性相关工作场所屏蔽情况表

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
1	源库	东	注射准备室	钢筋混凝土 200mm
		南	废物间	钢筋混凝土 200mm
		西	PET/MR 操作间	钢筋混凝土 200mm
		北	医护走廊	钢筋混凝土 200mm
		顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm (原顶板)
		防护门	注射准备室	10mmPb 铅板
2	注射准备室	东	卫生通过间	钢筋混凝土 200mm
		南	注射室	钢筋混凝土 250mm
		西	源库	钢筋混凝土 200mm
		北	医护走廊	钢筋混凝土 200mm
		顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm (原顶板)
		东侧防护门	卫生通过间	10mmPb 铅板
		南侧防护门	注射室	10mmPb 铅板
		注射窗口	注射室	40mmPb 屏蔽窗
3	注射室	东	卫生间	钢筋混凝土 200mm
		南	病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm
		西	废物间	钢筋混凝土 200mm
		北	注射准备室	钢筋混凝土 250mm
		顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm (原顶板)
		北侧防护门	注射准备室	10mmPb 铅板
		南侧防护门	病人及废物走廊	10mmPb 铅板
4	废物间	东	注射室	钢筋混凝土 200mm
		南	病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm
		西	PET/MR 操作间	钢筋混凝土 200mm
		北	源库	钢筋混凝土 200mm
		顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm (原顶板)
		防护门	源库	10mmPb 铅板
5	注射后候诊室(含卫生间)	东	衰变间	钢筋混凝土 200mm
		南	室外空地	钢筋混凝土 150mm+实心砖 370mm
		西	病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm
		北	病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm
		顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm (原顶板)
		北侧防护门	病人及废物走廊	10mmPb 铅板
		东侧防护门	病人及废物走廊	10mmPb 铅板
6	留观室(含卫生间)	东	病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm
		南	楼梯间	钢筋混凝土 150mm+实心砖 370mm
		西	PET/MR 设备间	钢筋混凝土 200mm
		北	病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm

续表 10.2

丙级非密封放射性相关工作场所屏蔽情况表

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
6	留观室 (含卫生间)	顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm(原顶板)
		东侧防护门	病人及废物走廊	10mmPb 铅板
		西侧防护门	留观室卫生间	10mmPb 铅板
7	PET/MR 检查室	东	PET/MR 操作间、病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm
		南	PET/MR 设备间	钢筋混凝土 200mm
		西	接收室	钢筋混凝土 150mm+实心砖 370mm
		北	阅片室	钢筋混凝土 200mm
		顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm(原顶板)
		病人防护门	病人及废物走廊	10mmPb 铅板
		医师防护门	PET/MR 操作间	10mmPb 铅板
观察窗	PET/MR 操作间	10mmPb 屏蔽窗		
8	衰变间	东	楼梯间	钢筋混凝土 200mm
		南	室外空地	钢筋混凝土 150mm+实心砖 370mm
		西	注射后候诊室卫生间	钢筋混凝土 200mm
		北	病人及废物走廊	钢筋混凝土 200mm
		顶板	拟用病理科(现有食堂拟搬迁)	钢筋混凝土 200mm+钢筋混凝土 150mm(原顶板)
		防护门	病人及废物走廊	10mmPb 铅板

#### 10.1.4 通风设施

核医学科气流组织：项目单独设计了场所的新风及排风系统。核医学科排风系统设计为 3 套独立系统，排风系统设计为：

(1) PET/MR 检查室设置单独的一套全面排风，排风口设置在北墙楼顶。

(2) 核医学科北部非辐射工作区域(监督区)包括阅片室、PET/MR 操作间、储物物料间、医护走廊、医生卫生通过间及卫生间、接诊登记室、注射前候诊室及卫生间设置一套全面排风，排风口设置在北墙楼顶，位于 PET/MR 检查室独立排风口的西侧。

(3) 核医学科南部辐射工作区域(控制区)包括源库、注射准备室、注射室、废物间、注射后候诊间、病人卫生间、病人及废物走廊、留观室设置一套全面排风。

(4) PET/MR 检查室设置独立排风，其他两套排风系统将监督区排风和控制区排风分开独立排风，能保证辐射污染前后的气流不交叉。

(5) 每套独立排风系统进、排风口设计：排风口靠近污染源，进风口远离污染源。3 台新风风机均安装在综合实验楼一层装修顶板下通风管道处，3 台抽排风风机均安装在综合实验楼楼

顶，排风口位于本建筑物屋顶中部，高出屋顶 3m，并安装锥形防风风帽。

(6) 3 套排风系统均在排风口前设置过滤装置。

(7) 定期检查维护通风设施工作的有效性和稳定性，定期更换排风系统滤芯，确保过滤效率满足要求，更换滤材操作安排在停机 24h 后进行，并做好辐射监测和个人防护工作。

(8) 所有排气管道经楼外墙通往项目所在楼楼顶。

新风、排风量见表 10.3，新风、排风走向平面图见图 10.4（详见附图 8）。

表 10.3 各功能房间通排风量参数表

序号	房间名称	面积(m <sup>2</sup> )	净高(m)	换气次数 (次/h)	排风量 (m <sup>3</sup> /h)	送风量 (m <sup>3</sup> /h)
1	PET/MR 检查室	46.4	2.8	19	2500	2500
2	源库	4.7	3.0	7	2000	2000
3	注射准备室	6.8	3.0			
4	注射室	7.5	3.0			
5	废物间	5.3	3.0			
6	病人及废物走廊	43.3	3.0			
7	注射后候诊室（含卫生间）	18.6	3.0			
8	留观室（含卫生间）	11.9	3.0			
9	阅片室	26.8	3.0	4	2000	2000
10	PET/MR 操作间	23.1	3.0			
11	储物物料间	9.0	3.0			
12	医护走廊（含问诊处）	35.3	3.0			
13	医生卫生通过间	5.5	3.0			
14	医生卫生间	6.5	3.0			
15	接诊登记室	9.1	3.0			
16	注射前候诊室	39.6	3.0			
17	注射前卫生间	6.2	3.0			

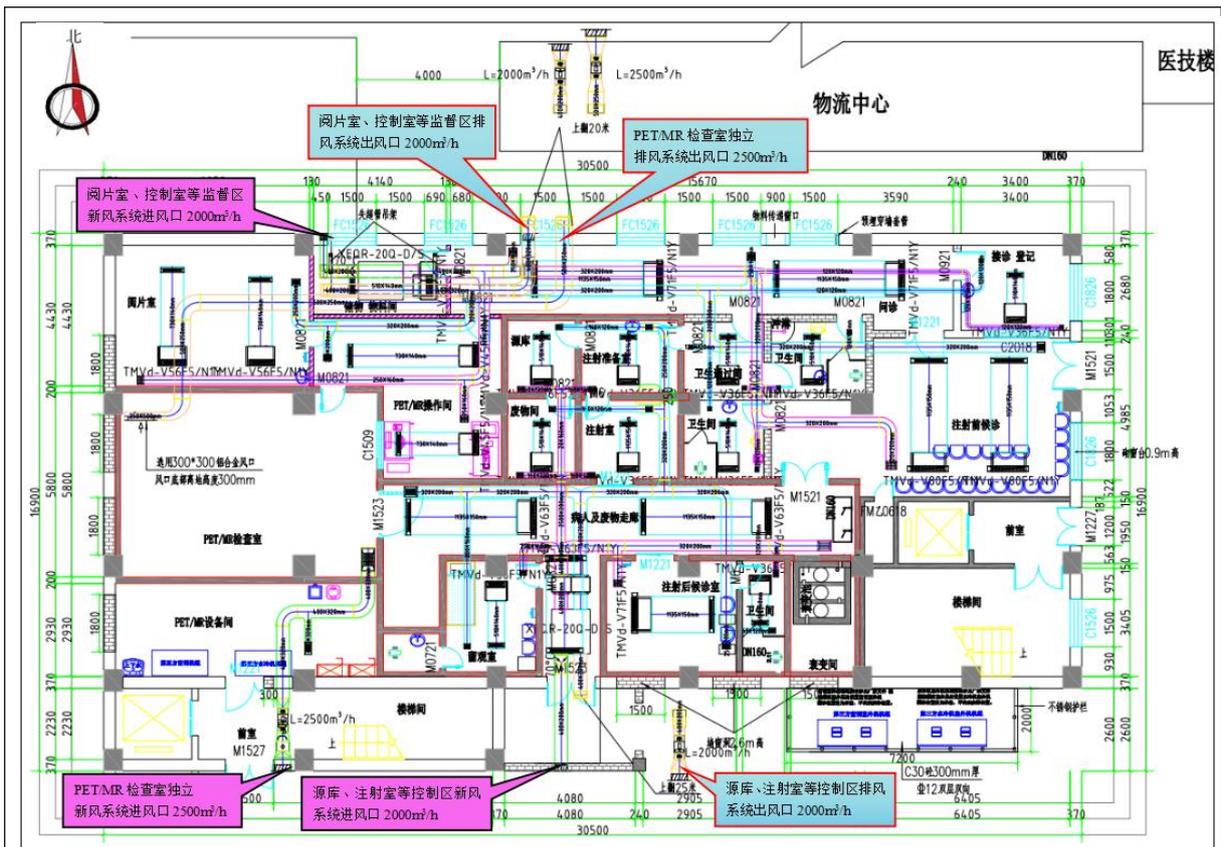


图 10.4 综合实验楼一层核医学科新风排风风管平面图

### 10.1.5 排水设施

根据医院提供的资料，核医学科涉及非密封放射性核素的功能房间（注射后候诊卫生间、留观卫生间）设置下水，经埋地管道自流进入三级推流式衰变池，衰变后自流排入综合实验楼东侧原有医院污水管网。3组衰变池尺寸相同，池壁及池顶为200mm混凝土，检查孔盖板为双层6mm钢板内夹10mmPb铅板，池底300mm混凝土，池内壁和池底均做刚性防水，池内高2m，每级衰变池容积均为2.57m<sup>3</sup>。所有废液衰变管道外包装10mmPb铅板，衰变池排气管外包装3mmPb铅板。核医学科衰变池示意图见图10.5、图10.6（详见附图9-1~附图9-3）。

衰变池管理及技术要求：

- 1、衰变池池底和池壁坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性（设计防渗等级为S6）、设计防泄漏措施（每级衰变池均设置溢流管，且溢流管口高度逐级降低）。
- 2、衰变池设计有各级衰变池溢流管水位及进水口球阀，顶部设计设置检查孔，保证排放受控。
- 3、衰变池顶部设计设置采样管，以便于采样监测。
- 4、在衰变池排放口设置标志牌。
- 5、核医学科注射药物后病人候诊室、留观室设置的病人卫生间，仅供给药后患者使用，其他人不得使用，卫生间下水及去污洗涤液排至衰变池。

6、定期（1次/年）委托有资质的单位对废水排放进行抽样检测。

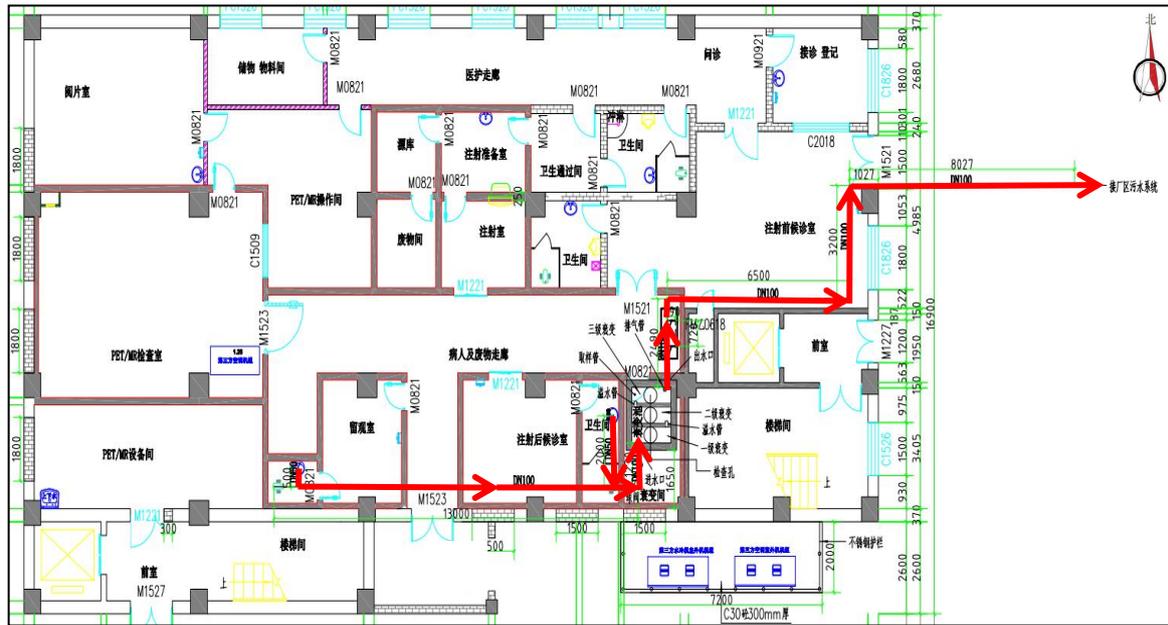


图 10.5 本项目新建核医学科衰变排水平面图

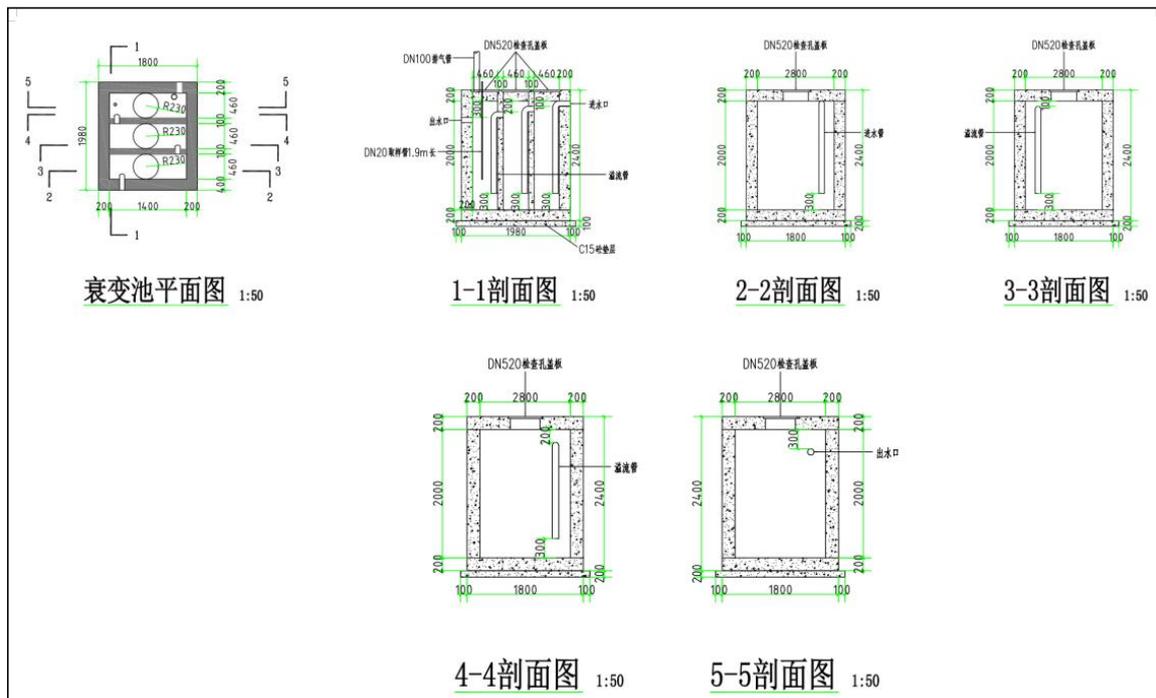


图 10.6 本项目新建核医学科衰变池平、剖面图

### 10.1.6 固废处置设施

- 1、工作场所内设置一间废物间，用于暂存放射性固体废物。
- 2、工作场所配备 2 个放射性废物储存桶，分别在注射室、废物间放置。

### 10.1.7 丙级非密封放射性工作场所的污染防治措施

#### 10.1.7.1 场所设施

## 1、场所标识

### (1) 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,医院应将丙级非密封放射性工作场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。

控制区:把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区,以便控制正常工作条件下的正常照射,并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区:这种区域未被确定为控制区,通常不需要专门的防护手段或安全措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

控制区和监督区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。

②控制区采用红色警示线划分,并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

③在控制区的入口处提供防护衣具、监测设备和个人衣物贮存柜。

④在控制区的出口处配备表面污染检测仪、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜。

⑤定期审查控制区的实际状况,以确定是否有必要改变该区的防护手段或安全措施。

⑥在控制区取出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。

⑦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。

### (2) 警示标识

①在核医学科入口处、PET/MR 入口、注射室、废物桶等位置应设置电离辐射警示标志、标识和说明。PET/MR 检查室防护门上方安装工作状态指示灯。

②控制区出入口及场所内人员路径地面应有相应的通道内的走向路径指示标识,在相应通道出入口设置单向门禁系统,门为常闭状态,非工作人员引导无法开启,防止人员回流。

## 2、错峰检查、错峰运输

根据患者预约情况,医院通常在固定时间分批次安排患者接受检查,安排不同的就诊时间。放射性固体废物错峰运输(放射性固体废物可于夜间或凌晨人员稀少时进行运输),防止交叉。

### 10.1.7.2 联锁装置

1、PET/MR 检查室防护门安装防护门与工作状态指示灯联锁装置。

2、PET/MR 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

检查室病人防护门外、病人走廊、注射前候诊室等处均设置有监控摄像头及音箱设备，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。

### 10.1.7.4 监测设备及辐射防护用品

#### 1、监测设备

本项目核医学科拟配备 1 台辐射巡检仪（配表面污染探头）和 1 台环境辐射监测仪，用于核医学科控制区移动监测使用及医师出口的表面污染自行监测。每名辐射工作人员配置 1 个热释光个人剂量计，工作期间必须佩戴热释光个人剂量计。

表 10.6 拟配备的监测设备

序号	防护用品	单位	数量	技术参数/型号	使用场所
1	辐射巡检仪（配表面污染探头）	台	1	RadPavise-H (RadProbe-AB)	控制区移动使用及 医师出口固定使用
2	环境辐射监测仪	台	1	RadWall-H	
3	个人剂量监测及报警装置	台	1	/	控制区移动使用
4	热释光个人剂量计	个	7	每人配备	辐射工作人员

#### 2、辐射防护用品

核医学科拟配备防护用品详见表 10.7。

表 10.7 拟配备的防护用品

序号	防护用品	单位	数量	参数	使用场所
1	铅围裙	套	3	0.5mmPb	注射准备室 /PET/MR 检查室
2	铅围脖	套	2	0.5mmPb	PET/MR 检查室
3	铅性腺围裙	套	2	0.5mmPb	PET/MR 检查室
4	注射器防护提盒	个	2	20mmPb	注射准备室、源 库
5	注射器屏蔽套	个	2	20mmPb	
6	放射废物储存桶	个	2	20mmPb	注射室、废物间
7	放射性药品储存柜	个	1	10mmPb	源库

### 10.1.7.6 使用放射性药物使用管理措施

- 1、按需要量预约和领取核素，登记放射性药物台账。
- 2、药物针剂应使用专用铅手提箱进行转运至药物传输窗口，辐射工作人员应正确穿戴好所需要的个人防护用品，不允许用裸露的手直接接触药品。

3、根据患者用量将分装好的针剂放于专用铅手提箱运至注射窗口，在屏蔽窗观察下注射给病人（病人提前预留好留置针）。

4、医院应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，对未用完已没有医用价值的放射性药品（统称为废原液）及注射器等统一保存在废物储存间进行衰变。

#### 10.1.7.7 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、应急处理工具。
- 3、必备的警示标志和标志线。
- 4、合适的灭火器材。
- 5、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）病人注射使用后的空药瓶、产生的注射器、棉棒、一次性手套（含核素  $^{18}\text{F}$ ）。
- （2）废旧活性炭等废过滤材料及失效过滤器等（含核素  $^{18}\text{F}$ ）。
- （3）报废密封放射源（ $^{68}\text{Ge}$ ）。

2、放射性固体废物治理措施：

（1）在废物间放置废物存放桶（污物桶），污物桶具有外防护层和电离辐射标志。污物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贮存在污物间的污物桶内，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）放射性废物袋装时应不超过 20kg，每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h 或满足小于  $1 \times 10^5 \text{Bq/kg}$  的标准要求。 $\beta$ 表面沾污应不大于  $0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。

（6）报废密封放射源厂家回收或送交山西省城市放射性废物库。

另外，对未用完已没有医用价值的放射性药品（统称为废原液），应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，对于残余的微量余液，应注入存放在原容器内，按放射

性固体废物经检测达标后处理。

### 10.2.2 废气的治理

由污染源分析可知，本次核医学科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。本项目废气排放口设置在本建筑楼顶，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，核医学科废液主要为核医学科内病人的排泄物、卫生间下水及操作台面等表面清洗废液。

病人的排泄物及清洗废液由专用屏蔽管道（所有废液衰变管道用 10mm 铅皮包裹）排入在衰变池中。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，废液衰变池顶部留有取样口，排放前须超过 30 天的暂存期或检测满足总 $\beta < 10\text{Bq/L}$  后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，医院核医学科设置有独立的放射性废液排放系统，所有废液衰变管道用 10mm 铅皮包裹，衰变池排气管外包装 3mmPb 铅皮，经采取上述辐射防护措施后，放射性废液管道的辐射对环境影响很小。放射性废液经衰变池处理后，排入医院污水管网。医院核医学科产生放射性废液能够得到有效处理，达标排放。

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：场所改造过程中，拆除墙体、运输原材料产生的扬尘。
- (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：施工过程中使用电钻等施工设备产生的噪声。

#### 11.1.1 废气

施工期大气污染物主要来源于室内装修的施工扬尘。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、涂料、铺装材料等易产生扬尘的建筑材料，应采取防尘布苫盖。

(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，包括拆除现有建筑产生的弃渣、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

施工噪声主要来自拆除过程和新建过程不同作业的机械产生的噪声和振动。

施工期声环境保护措施：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

本项目产生放射性废液的主要来源是病人冲洗排便用水；工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液。

##### 2、核医学科每天排水量估算

医院核医学科每天医护人员预计 5 人（4 名辐射工作人员，1 名护士），核医学科工作人员清

洗用水（不包含淋浴及医生卫生间的非放射性废水）10L/人/天，核医学科门诊病人每天最大约 5 人，门诊病人用水为 5L/人/天，核医学科用水、排水量见下表。

表 11.1 核医学科日用水、排水量汇总表

用水类别	用水定额	用水规模	用水量 (m <sup>3</sup> /d)	排水量 (m <sup>3</sup> /d)	去向
医护人员	10L/人/d	5 人	0.050	0.045	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
门诊病人	5L/人/d	10 人	0.050	0.045	
地面清洗	2L/50m <sup>2</sup> /d	约 400m <sup>2</sup>	0.016	0.014	
未预见水量按以上水量的 10%计			0.012	0.010	
总计			0.128	0.114	

注：排水量按用水量的 90%计算。

根据《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)和《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)规定，低放射性废液应经衰变池处理，衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。本项目衰变池防渗等级 S6。

### 3、放射性废液处理可行性

项目设置一个三级推流式衰变池，总有效容积为 3.67m<sup>3</sup>，逐级衰变池有效容积依次为 1.22m<sup>3</sup>、1.16m<sup>3</sup>、1.29m<sup>3</sup>。当一级衰变池废液量到达设定有效容积时，自动溢流注入第二级衰变池，第二级衰变池废液量到达设定有效容积时，自动溢流注入第三级衰变池，当满足暂存 30 天后，第三级衰变池可向医院污水处理管网排空衰变池内废液。本项目核医学科产生放射性废液最大量约 0.114m<sup>3</sup>/d，30 天产生量为 3.42m<sup>3</sup>，该项目核医学科的 3 个衰变池容量能够满足《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。

医院在第三级衰变池顶部设置了废液取样口，医院应根据开展诊断工作后病人的数量，衰变池废水衰变超过 30 天的暂存期或检测满足总β<10Bq/L 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<sup>8</sup>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<sup>9</sup>Bq 的要求。监测频次（1 次/每次事故）。衰变池废液排水管道所有所有废液衰变管道外包裹 10mmPb 铅板，衰变池排气管外包裹 3mmPb 铅板，废液管道的辐射对环境影响很小。本次新增核医学科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分装瓶、一次性注射器、手套、病人服药的一次性纸杯、废棉签、清洁用抹布；排风系统产生的废旧活性炭等过滤材料及失效过滤器；报废的密封校准源。

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、药瓶以及擦拭废物、试纸等	<sup>18</sup> F	50	10	0.50	2500	125.0
废旧活性炭等过滤材料及失效过滤器	<sup>18</sup> F	/	/	/		5
退役的密封校准源	<sup>68</sup> Ge	5 枚，厂家回收或送交山西省城市放射性废物库。				

## 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) 在注射区、用药后候诊区，分别放置小的放射性污物桶，医生嘱咐患者，按照规定将废物置于污物桶，再将污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储存间衰变超过 30 天。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求每袋废物表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg，表面污染控制水平 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。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。PET/MR 使用校准放射源报废后由厂家回收或送交山西省城市放射性废物库。

项目设置 5.25m<sup>2</sup> 废物间，用于暂存放射性固体废弃物，项目日产生固体废弃物约 0.5kg，30 天产生 15kg，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检测仪，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 <sup>18</sup>F 的放射性气体。

## 2、废气处理可行性

PET/MR 检查室设置独立排风系统，控制区其他辐射各功能用室与非辐射功能用室分开两套排风系统，放射性废气经过滤净化装置处理后引至本建筑楼顶进行排放，对环境影响很小。

### 11.2.4 声环境影响分析

本项目噪声主要为空调压缩机、送排风机等设备运行时产生的噪声，新风系统送风机安装在综合实验楼顶棚的各送风管道入口附近，排风使用的抽排风机安装在综合实验楼楼顶，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 $\gamma$ 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）

$$D_0 = \frac{A \times \Gamma}{R^2} \times 10^{-\frac{\Delta S}{TVL}}$$

式中： $D_0$ ——距离 R 米处的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

R——考查点到 $\gamma$ 源的距离（m）；

A——源的活度（MBq）；

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

$\Delta S$ ——屏蔽厚度（mm）；

TVL——屏蔽材料的十值层厚度（mm）。

表 11.3 照射量率常数参数选取表

核素	照射量率常数 ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ )	铅 (mm)	混凝土 (mm)	砖 (mm)
$^{18}\text{F}$	0.143	16.6	176	263

核医学科控制区范围内，除辐射工作人员因诊断治疗需偶尔进入，无受检患者以外的其他人员活动，且受检者均为用药后的患者，本身可视为移动放射源，因此根据距离屏蔽、防护屏蔽的原则，在对核医学科开展剂量分析时，主要考虑核医学科控制区边界功能用房对周边关注点的辐射影响。

## 2、核医学科场所屏蔽设计核算及结果

### (1) 核医学科场所辐射源项分析

核医学科场所使用的核素根据病人数量及使用量，屏蔽核算以最大量进行计算。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	注射准备室	10mCi (3.7E+8Bq)	单次注射核素不超过
2	注射室	10mCi (3.7E+8Bq)	单次注射核素不超过
3	注射后候诊室	20mCi (7.4E+8Bq)	2 人核素不超过
4	留观室	10mCi (3.7E+8Bq)	1 人核素不超过
5	PET/MR 检查室	10mCi (3.7E+8Bq)	单次注射核素不超过
6	源库	10mCi (3.7E+8Bq)	单次注射核素不超过
7	废物间	1mCi (3.7E+7Bq)	10 人核素不超过
8	衰变间	1mCi (3.7E+8Bq)	10 人核素不超过

(2) 核医学科场所工作用房屏蔽厚度核算：本项目所使用的场所包括源库、注射准备室、注射室、注射后候诊室、PET/MR 检查室、留观室、废物间、衰变间。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

核医学科场所各功能区四周屏蔽体外 $\gamma$ 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 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	标准 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	是否达标
源库	南/北墙体	钢筋混凝土 200mm+10mmpb 放射性药品储存柜+20mmpb 注射器防护提盒	18F (10 mCi)	1.6	2.35E-02	2.5	是
	东/西墙体	钢筋混凝土 200mm+10mmpb 放射性药品储存柜+20mmpb 注射器防护提盒		1.5	2.68E-02	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm+10mmpb 放射性药品储存柜+20mmpb 注射器防护提盒		4.85	3.60E-04	2.5	是
	防护门	10mmpb 单扇平开防护门 +10mmpb 放射性药品储存柜 +20mmpb 注射器防护提盒		1.5	9.16E-02	2.5	是
注射准备室	南墙体	钢筋混凝土 250mm +20mmpb 注射器屏蔽套	18F (10 mCi)	0.8	1.96E-01	2.5	是
	北墙体	钢筋混凝土 200mm+20mmpb 注射器屏蔽套		2.4	4.19E-02	25	是
	东/西墙体	钢筋混凝土 200mm+20mmpb 注射器屏蔽套		2.0	6.03E-02	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm+20mmpb 注射器屏蔽套		4.85	1.44E-03	2.5	是
	东防护门	10mmpb 单扇平开防护门 +20mmpb 注射器屏蔽套		1.3	4.88E-01	2.5	是
	南防护门	10mmpb 单扇平开防护门 +20mmpb 注射器屏蔽套		1.2	5.73E-01	2.5	是

续表 11.5

核医学科场所各功能区四周屏蔽体外 $\gamma$ 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 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	标准 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	是否 达标
注射室	东/西墙体	钢筋混凝土 200mm	18F (10mCi)	2.0	6.18E-01	2.5	是
	北墙体	钢筋混凝土 250mm		1	1.29E-00	2.5	是
	南墙体	钢筋混凝土 200mm		2.7	3.39E-01	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm		4.85	1.48E-02	2.5	是
	北防护门	10mmpb 单扇平开防护门		1.9	2.34E-00	2.5	是
	南防护门	10mmpb 电动推拉防护门		2.8	1.08E-00	2.5	是
	注射窗	40mmpb 屏蔽窗		0.8	1.50E-02	2.5	是
注射后候诊室 (含卫生间)	东墙体	钢筋混凝土 200mm	18F (10mCi* 2人)	2.5	7.92E-01	2.5	是
	西墙体	钢筋混凝土 200mm		4	3.09E-01	2.5	是
	北墙体	钢筋混凝土 200mm		1.5	2.20E-00	2.5	是
	南墙体	钢筋混凝土 150mm+实心 砖 370mm		2.0	9.32E-02	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm		4.85	2.96E-02	2.5	是
	防护门	10mmpb 电动推拉防护门		2.7	2.32E+00	2.5	是
PET/ MR 检查室	南/北墙体	钢筋混凝土 200mm	18F (10mCi)	3.4	2.14E-01	2.5	是
	东墙体	钢筋混凝土 200mm		4.5	1.22E-01	2.5	是
	西墙体	钢筋混凝土 150mm+实心 砖 370mm		5.2	6.90E-03	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm		4.85	1.48E-02	2.5	是
	医生防护门	10mmpb 手动平开防护门		3.4	7.32E-01	2.5	是
	病人防护门	10mmpb 电动平开防护门		4.5	4.18E-01	2.5	是
	观察窗	10mmpb 屏蔽窗		4.5	4.18E-01	2.5	是
留观室 (含卫生间)	北墙体	钢筋混凝土 200mm	18F (10mCi)	1	2.47E-00	2.5	是
	南墙体	钢筋混凝土 150mm+实心 砖 370mm		3.4	1.61E-02	2.5	是
	东墙体	钢筋混凝土 200mm		2.8	3.16E-01	2.5	是
	西墙体	钢筋混凝土 200mm		1	2.47E-00	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm		4.85	1.48E-02	2.5	是
	防护门	10mmpb 单扇平开防护门		2.8	1.08E+00	2.5	是

续表 11.5

核医学科场所各功能区四周屏蔽体外 $\gamma$ 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 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	标准 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	是否达标
废物间	东/西墙体	钢筋混凝土 200mm	18F (10mCi*10人*0.01)	1.5	1.72E-01	2.5	是
	南/北墙体	钢筋混凝土 200mm		1.7	1.34E-01	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm		4.85	2.31E-03	2.5	是
	防护门	10mmpb 单扇平开防护门		1.7	4.57E-01	2.5	是
衰变间	东/西墙体	钢筋混凝土 200mm+200mm 钢筋混凝土衰变池壁	18F (10mCi*10人*0.1)	0.7	5.76E-01	2.5	是
	北墙体	钢筋混凝土 200mm+200mm 钢筋混凝土衰变池壁		0.7	5.76E-01	2.5	是
	南墙体	钢筋混凝土 150mm+实心砖 370mm+钢筋 200mm 混凝土衰变池壁		2.2	4.40E-03	2.5	是
	屋顶	钢筋混凝土 350mm+150mm 钢筋混凝土衰变池顶		4.85	3.24E-03	2.5	是
	防护门	10mmpb 单扇平开防护门 +200mm 钢筋混凝土衰变池壁		0.7	1.97E-00	2.5	是

备注：钢筋混凝土的密度  $2.35\text{t/m}^3$ ；铅的密度为  $11.3\text{g/cm}^3$ ；砖的密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ 。

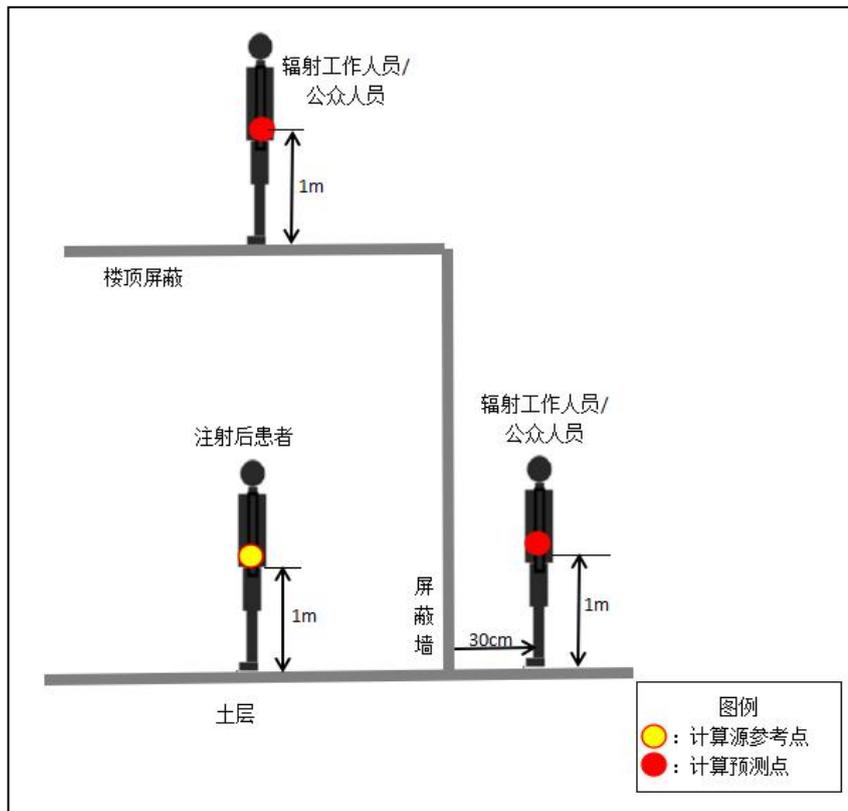


图 11.1 工作场所屏蔽体表面辐射剂量率预测计算点位示意图

### (3) 核医学科场所屏蔽核算结果

经计算，核医学科场所各功能房间屏蔽墙外的 $\gamma$ 周围剂量当量率能够满足小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的限值要求。

#### 11.2.5.2 $\beta$ 射线影响分析

$\beta$ 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； $\rho$ —防护材料的密度， $\text{g/cm}^3$ ； $E_{\beta \max}$ —电子最大能量，MeV。

本项目使用  $^{18}\text{F}$  核素，最大能量为  $0.63\text{MeV}$ 。各功能用室四周墙体防护材料为  $200\text{mm}$  以上钢筋混凝土，其密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ；实心砖密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ；防护门窗为  $10\text{mmPb}$  以上铅板或铅玻璃，铅的密度为  $11.3\text{g/cm}^3$ 。代入上述公式可知， $\beta$ 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，因此本项目使用核素的 $\beta$ 射线对周围环境影响十分轻微，可忽略不计。

#### 11.2.5.3 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—射线所致有效剂量，Sv；

D—贯穿辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

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  $1 (\text{Sv/h}) / (\text{Gy/h})$ ；

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) 药物转运、注射、PET/MR 检查辅助过程时间分析

工作制度：实行 8 小时工作制，年工作日以 250 天计。 $^{18}\text{F-FDG}$  药物每次从现有核医学科医技楼负一层转运至本次新增核医学科药物传递窗口处持续时间约 3 分钟，最大转运次数为 10 次/天；注射时间  $1\text{min/}$ 人次，机房内辅助病人摆位等用时约为  $2\text{min}$ ，PET 扫描最多  $30\text{min/}$ 人次，MR 扫描最多  $30\text{min/}$ 人次，一年最多 2500 个病人。则药物转运（专人负责）一年工作时间为 125 小时，注射工作人员（2 人轮流操作）一年工作时间为 41.7 小时，PET/MR 检查室内辅助病人摆位（2 人轮流操作）一年时间为 83.3 小时，PET/MR 设备操作工作人员（2 人轮流操作）一年时间为 2500 小时。

项目辐射工作人员利用原核医学科科室的 7 名辐射工作人员，每天由 1 名医技楼回旋加速器辐射工作人员负责药物转运；2 名技师（轮值）负责药物注射、PET/MR 病人摆位及机器操作。

表 11.6 18F 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	药物转运		3min	2500 次	125	1 名专职
2	药物注射		1min	2500 次	41.7	2 名轮值
3	PET/	辅助病人摆位	2min	2500 次	83.3	
4	MR	PET 扫描	30min	2500 次	1250	
5	诊断	MR 扫描	30min	2500 次	1250	

(2) 剂量率 D 参数及计算结果

根据医院实际工作，药物转运过程辐射工作人员在装有单个针剂的铅防护手提盒外操作；药物注射过程辐射工作人员在屏蔽注射窗后操作；PET/MR 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/MR 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。各处剂量率 D 参数选取如下：

注射人员身体：根据表 11.5 中注射室北墙体 30cm 处（注射工作人员操作位）剂量率估算值为 1.29 $\mu$ Gy/h，再考虑（注射工作人员操作位）剂量率估算为 2.29 $\mu$ Gy/h，本项目药物注射按照二者叠加剂量率估算值 3.58 $\mu$ Sv/h 保守估算。药物转运按药物注射盒外 30cm 处剂量率 2.29 $\mu$ Gy/h 计算。

机房内辅助病人摆位工作人员：按患者单次最大注射 10mCi，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 2.62E+01 $\mu$ Gy/h。

操作间内设备操作工作人员：按表 11.5 中 PET/MR 检查室东墙体外 1m 操作位处剂量率估算值为 4.05E-03 $\mu$ Gy/h 计算。

根据上述有效剂量估算公式、选取上述各参数，对本项目 18F 辐射工作人员年剂量预测结果如下：

表 11.7 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 ( $\mu$ Sv/h)	年操作时间 (h)	预测结 ( $\mu$ Sv/a)	操作人员
1	药物转运		2.29E-00	125	286.25	1 名专职
2	药物注射		3.58E-00	41.7	149.29	2 名轮职
3	PET/	辅助病人摆位	2.62E+01	83.3	2182.46	
4	MR	PET 扫描	4.05E-03	1250	5.06	
5	诊断	MR 扫描	4.05E-03	1250	5.06	
18F 对专职人员贡献值：286.25 $\mu$ Sv/a				18F 对轮职人员贡献值：1170.94 $\mu$ Sv/a		

(3) 辐射工作人员年有效剂量分析

转运放射性核素的职业人员外照射所受年最大有效剂量附加值为 0.29mSv/a，注射、PET/MR 操作辐射工作人员所受外照射年最大有效剂量附加值为 1.17mSv/a，以上部分为计算结果，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本项目管理目标限值 2.5mSv/a，满足本项目管理要求。

根据中国辐射防护研究院出具的 2019 年、2020 年、2021 年山西医科大学第一医院年剂量检测报告，该医院现有核医学科涉及的本项目已有辐射工作人员外照射年剂量最大值为 0.73mSv/a，与本项目外照射年附加剂量计算的结果叠加后外照射年剂量最大值为 1.90mSv/a，仍能满足医院核医学科辐射工作人员 5mSv/a 的目标限值要求。

### 3、公众成员年附加有效剂量

根据表 7.1 中各功能用房周边相邻场所的用途可知，核医学科辐射工作场所外围四周公众活动的区域主要为医技楼、物流中心、医院家属院住宅楼、采供点楼、锅炉房、车队辅助楼、2 号住院楼及肿瘤诊疗中心等，核医学科辐射工作场所楼上四至六层为病理科，楼上二、三层拟改造为病理科。

核医学科四周评价范围各敏感点处公众人员按最不利情况考虑，四周关注点贯穿辐射剂量率均按照表 11.5 中墙体外最大剂量率取值计算。

楼上及四周评价场所公众人员各位置居留时间不同，因此各公众人员关注点处贯穿辐射剂量率按照表 11.5 中对应的计算结果取值。

根据医院提供信息，本项目场所楼上二层拟改造的病理科工作人员为 8 小时工作制。PET/MR 区域病人注射、扫描等工作一般集中在上午完成，就诊人员较多时会全天进行，场所辐射时间按就诊人员最多情况考虑为每天 8h，每年工作 250 天，年总辐射工作时间为 2000h。公众外照射年附加有效剂量的计算结果见下表。

表 11.8 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)
洗车房	东侧	核医学科	5	2000	1	2000	根据表 11.5 计算核医学科四周最大辐射剂量率为 $2.47\mu\text{Gy/h}$ ，经	0.003

配电楼	东侧	核医学科	16	2000	1/16	125	过距离及辐射路径建筑物阻隔衰减, 辐射源对敏感目标处的辐射剂量率贡献值< 0.0015μGy/h	忽略不计	
车队辅助楼	东南	核医学科	27	2000	1	2000		0.003	
锅炉房	南侧	核医学科	8	2000	1	2000		0.003	
2号住院楼及肿瘤诊疗中心	东南	核医学科	48	2000	1	2000		0.003	
垃圾站	西南	核医学科	47	2000	1/4	500		忽略不计	
医院家属院1号住宅楼	西北	核医学科	19	2000	1	2000	根据表 11.5 计算核医学科四周最大辐射剂量率为 2.47μGy/h, 经过距离及辐射路径建筑物阻隔衰减, 辐射源对敏感目标处的辐射剂量率贡献值< 0.0015μGy/h	0.003	
医院家属院2号住宅楼	西侧	核医学科	13	2000	1	2000		0.003	
医院家属院4号住宅楼	西南	核医学科	17	2000	1	2000		0.003	
医院家属院7号住宅楼	西南	核医学科	44	2000	1	2000		0.003	
医技楼	东北	核医学科	8	2000	1	2000		0.003	
物流中心	北侧	核医学科	2.5	2000	1	2000		0.003	
采供点楼	西北	核医学科	1.5	2000	1	2000		0.003	
快餐店	西北	核医学科	4	2000	1	2000		0.003	
收发室	西侧	核医学科	紧邻	2000	1	2000		6.90E-03μGy/h (表 11.5 中计算 PET/MR 检查室西墙外辐射剂量率)	0.014
二层病理科(拟用)	楼上	核医学科	紧邻	2000	1	2000		2.96E-02μGy/h (表 11.5 计算核医学科屋顶外最大辐射剂量率)	0.059
三层病理科(拟用)	楼上	核医学科	5	2000	1	2000	<0.059		
四-六层病理科	楼上	核医学科	>10	2000	1	2000	<0.059		

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 0.059mSv/a 满足公众成员 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

综上, 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均小于本项目管理目标限值 2.5mSv/a, 所致保护目标公众人员外照射年有效剂量均小于管理目标限值 0.1mSv/a, 满足管理要求。该医院现有核医学科与本项目外照射年附加剂量计算的结果叠加后外照射年剂量最大值为 1.90mSv/a, 仍能满足医院核医学科辐射工作人员 5mSv/a 的目标限值要求。

### 11.3 事故影响分析

根据《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运送途中运输容器倾覆少量放射性溢出，运送途中运输容器倾覆溢出大量的放射性物质；分装后的注射器倾覆或破损使放射性物质溢出。PET/MR 使用 V 类校准源，可能会出现放射源丢失、被盗、失控。

（1）运送途中运输容器倾覆少量放射性溢出。

在发生这种溢出之后，应采取以下行动：

- ①使用防护服和一次性手套；
- ②用吸水垫快速吸收溢出物，防止其漫延；
- ③从泄漏处取下垫了；
- ④用毛巾从污染区边缘向中心擦拭；
- ⑤干燥区域并进行擦拭物测试；
- ⑥继续清洁和擦拭测试循环，直到擦拭样品显示已经清理了溢出物；
- ⑦使用塑料袋来容纳污染的物品，应提供合适的袋子以及湿纸巾。

（2）运送途中运输容器倾覆溢出大量的放射性物质。

在发生这种溢出之后，应采取以下行动：

- ①应立即通知放射防护管理人员并直接监督清理工作；
- ②将吸收垫放在溢出物上以防止其进一步污染漫延；
- ③所有非参与泄漏事故处置的人都应立即离开该场所；
- ④在离开污染区时监测所有涉及泄漏的人是否受到污染；
- ⑤如果衣服被污染，请将其取出并放入标有“放射性”的塑料袋中；
- ⑥如果发生皮肤污染，请立即清洗；
- ⑦如果发生眼睛污染，请用大量的水冲洗。

（3）分装后的注射器倾覆或破损溢出放射性物质。

在发生这种溢出之后，应采取以下行动：

- ①应立即通知放射防护管理人员并直接监督清理工作；
- ②将吸收垫放在溢出物上以防止其进一步污染漫延；
- ③所有非参与泄漏事故处置的人都应立即离开该场所；
- ④在离开污染区时监测所有涉及泄漏的人是否受到污染；

⑤如果衣服被污染，请将其取出并放入标有“放射性”的塑料袋中；

⑥对溢出物污染的区域进行清污及监测。

(4) 操作过程中，没有严格按照操作规程操作，溢漏、洒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 $\beta$ 表面污染大于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，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 $\beta$ 表面污染小于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$  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。

(5) 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。

(6) 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。

(7) 手部有伤仍从事放射性物质操作，可能造成内污染；违反核医学科管理规定，在核医学科吸烟、进食，可能吸入和食入放射性物质造成人员内照射；核医学科管理规定将核医学科用品（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、乱放造成误食或洒泼；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。

(8) 注射药物后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：控制区出入口设有门禁系统进入，张贴警示标志，警示注射药物后患者正确走向，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。

(9) 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。

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方法进行处置。

(10) 医院 V 类放射源丢失、被盗、失控。

①一旦发生以上事故，发现者应立即保护现场并严格控制进出人员同时向辐射事故应急领导小组报告。使用放射源的科室立刻根据存档资料迅速确定被盗或丢失放射源基本情况。

②保卫科在事故现场周围设岗，设立警戒线，负责现场治安和交通指挥，引导当地公安局、卫健委和生态环境局等部门人员进入事故现场，并对现场进行保护。

③领导小组和相关人员应配合公安部立案侦查，通过辐射探测和事件调查，寻找丢失或被盗的放射源和放射性污染物件，使其重新得到有效控制。

④对于受到辐射伤害的人员应立即送往市卫生健康委指定的医院进行救治。

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**

山西医科大学第一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，并及时将合格证书编号或辐射安全与防护成绩报告单编号录入“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。取得辐射安全防护培训合格证的人员，应当每五年接受一次再培训，培训合格后方可继续从事辐射工作。（2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效）。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科场所配备的 7 名辐射工作人员均为医院原有辐射工作人员，辐射工作人员辐射安全上岗证见下表。

表 12.1 本项目辐射工作人员明细表

场所	姓名	性别	专业	辐射人员上岗证号	证书有效期	2019 年剂量 mSv	2020 年剂量 mSv	2021 年剂量 mSv
核医学科工作场所	郝新忠	男	核医学	FS20SX0300050	2025.9.21	0.21	0.35	0.08
	武萍	女	核医学	FS20SX0300044	2025.9.21	0.15	0.44	0.17
	秦志星	男	核医学	FS20SX0300032	2025.9.11	0.35	0.37	0.33
	程鹏亮	男	核医学	FS20SX0300043	2025.9.17	0.25	0.38	0.09
	李梦春	女	核医学	FS20SX0300030	2025.9.11	0.17	0.73	0.59
	鄢敏	男	核医学	FS20SX0300038	2025.9.17	0.36	0.49	0.39
	师晓丽	女	核医学	FS20SX0300027	2025.9.11	0.36	0.58	0.18

**12.2 辐射安全管理规章制度**

山西医科大学第一民医院新增丙级核医学科场所，在该场所内安装一台 PET/MR。该医院原已开展核医学科，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) 辐射安全管理规定。
- (2) 场所分区管理规定。
- (3) 安全操作规程（新增核医学科）
- (4) 辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施）。

- (5) 监测方案。
- (6) 监测仪表使用与校验管理制度。
- (7) 辐射工作人员培训/再培训管理制度。
- (8) 辐射工作人员个人剂量管理制度。
- (9) 辐射事故应急预案。
- (10) 放射性“三废”管理规定。

### 12.2.2 核医学科

- (1) 核医学科场所
  - 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、贮存及包装等）。
  - ③去污操作规程、PET/MR 安全操作规程。
  - ④保安管理规定。
  - ⑤安全防护设施的维护与维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）。

- (2) 放射性物质
  - ①非密封放射性物质的管理规定（购买、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应建立衰变池废液检测制度。

### 12.2.3 其他

- (1) 建立如下台帐  
核医学科相关台帐：
  - ①新核医学科核素使用台帐，记录核素的名称、每次购买的量、购买时间等详细信息。
  - ②新核医学科核素转让台帐。

③核素管理台账，记录每种核素的名称、每次购买的量、购买时间等详细信息。

(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。

个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当终生保存。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案。辐射工作人员调换单位的，原用人单位应当向新用人单位或者辐射工作人员本人提供个人剂量档案的复制件。

②日常监测档案。

③针对每人、每个科室、每个机房配备的防护用品，建档管理，便于查询、统计。

④放射性废物处理档案。

⑤工作区域辐射水平测量档案。

⑥对核医学科配备的防护用品、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>) 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。

### 12.2.3 竣工环境保护验收

本工程竣工环境保护验收见表 12.2。

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	相符性	辐射工作场所位置、布局、屏蔽及设备等等与环评及环评批复是否一致。 核医学科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	核医学科控制区外四周墙壁外表面 0.3m、铅窗、操作台前、电缆及管道出入口各检测点周围剂量当量率满足限值要求。 核医学科辐射工作人员的外照射年有效剂量附加满足<5mSv/a。 公众成员外照射年有效剂量附加值满足<0.1mSv/a。 核医学科放射性废液排放是否满足标准要求，废气排放、固废是否按本报告要求进行。放射性废液满足暂存期超过 30 天或总 $\beta$ <10Bq/L 的要求。放射性固体废物满足暂存期超过 30 天或剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ，表面污染 $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。
4	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。
5	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。
6	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 监测设备及辐射防护用品的表 10.6、表 10.7 中所列的辐射防护措施及防护用品、检测仪器是否均已落实到位。
7	人员要求	辐射工作人员取得上岗证书或辐射安全培训合格证书且均在有效期内。

## 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 $\beta$ 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、通过对暂存库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、通过对核医学科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放射性测定 蒸发法》（EJT900-1994）对放射性废液进行监测。

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》（HJ1149-2022）对核医学科排放废气进行监测。

### 12.3.4 监测内容

项目环境、工作场所、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（委托有资质的单位）。

项目放射性废液监测内容主要是总α、总β值（委托有资质的单位）。

项目放射性废气监测内容主要是使用核素气溶胶剂量（委托有资质的单位）。

### 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，对核医学科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。核医学科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 核医学科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	放射性药品注射场所。	1 次/天
	发生事故时可能受到放射性污染的区域。	1 次/次
	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
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、给药后患者候诊室、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 环境监测**

医院科室应自行或委托有能力的监测机构对核医学科工作场所周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

#### **12.3.5.3 废水监测**

医院应委托有能力的监测机构对核医学科衰变池出口（预留取样口）废水进行辐射水平抽样检测，监测频次 1 次/年。

发生事故时委托有资质的单位采样衰变池前池的废水进行监测，监测频次 1 次/次。

#### **12.3.5.4 废气监测**

医院应委托有能力的监测机构对核医学科所有放射性排气口进行辐射水平监测，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》及《太原市辐射事故应急预案》的相关要求，在本省辖区内发生特别重大辐射事故、重大辐射事故和较大辐射事故时，省辐射事故应急指挥部统一部署，市配合辐射事故的应急处置。发生一般辐射事故时，由市辐射事故应急指挥部指挥应急。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急响应，采取必要措施，立即向所在地县辐射事故应急指挥部及其办公室电话报告并尽快进行书面报告，并填写《辐射事故初始报告表》。

医院已制定了辐射事故应急预案，预案内容包括：辐射事故分级、辐射防护管理组织机构、职责分工；辐射事故的预防、应急响应措施；应急响应、事故责任处理、应急响应准备和事故应急演练；应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、物资准备；辐射事故的调查、报告和处理程序，辐射事故信息发布和新闻报道等。本次新增核技术利用项目后应对应急预案进行部分修订，以便适应新项目开展的需要。

#### **12.4.1 辐射防护管理组织及防护职责**

医院已成立辐射事故应急处理领导小组，当发生辐射事故时应立即启动应急预案，按照应急预案的应急处理程序进行处理。

辐射事故应急处理领导小组职责如下：

(1) 组织制定医院辐射事故应急处理预案。

(2) 负责组织协调辐射事故应急处理工作。

(3) 组织辐射事故应急人员的培训。

(4) 负责与上级主管部门和当地生态环境主管部门的联络、报告应急处理工作，配合做好事故调查和审定。

(5) 负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作。

(6) 采取各种快速有效措施，做好善后处理，最大限度地消除对医院的负面影响。

医院应对辐射事故应急处理小组成员进行完善，组员应更新各放射性同位素与射线装置使用科室等相关科室负责人，并列出一位成员的应急联系方式，确保发生辐射事故时可迅速取得联系。

#### **12.4.2 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、辐射事故分级、预案适应范围、工作原则、辐射事故应急组织机构及职能、预防事故措施、应急处理措施、辐射事故报告、善后处理、预案管理等内容，结合本项目辐射事故应急管理需要，医院应对《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科放射性同位素丢失、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科可能发生辐射事故的应急处理程序相关内容。

(4) 增加应急救助的装备、资金保障情况。

#### **12.4.3 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。

#### **12.4.4 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》及《太原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 小时内向太原市生态环境局迎泽

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》，根据造成或可能造成人员辐射损伤照射的程度，还应同时向山西省卫生健康委员会报告。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。

### 12.5 从事辐射活动能力评价

(1) 根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定与山西医科大学第一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）的规定与山西医科大学第一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）非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序（文件编号 NNSA HQ-08-JD-IP-030）的要求与山西医科大学第一医院从事本项目辐射活动能力评价对照表见表 12.6~12.7。

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》第十六条相关要求对照表

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	本单位拟落实情况
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。	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。	本项目 7 名辐射工作人员已全部参加辐射安全与防护培训，并考核合格。
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。	医院已制定相应的放射性同位素与射线装置操作规程，拟制定新项目的操作规程。人员出入口处拟设置电离辐射警告标志，设门禁系统，门灯联锁装置等。

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》第十六条相关要求对照表

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	本单位拟落实情况
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。	拟配备辐射监测仪（配表面污染探头），拟配铅围裙、围脖等。工作人员已配备了个人剂量计。
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及操作规程、人员培训计划、监测方案等。拟完善本项目岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度，拟制定本项目的操作规程、人员培训计划、监测方案等。
6	有完善的辐射事故应急措施。	已制定辐射事故应急处理预案。拟修订完善现有辐射事故应急处理预案。

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	本单位拟落实情况
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。	使用、贮存放射性同位素场所门外设置电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明；检查室病人防护门外设置工作警示灯，并设置门灯联锁装置；放射性工作场所出入口设置门禁系统、视频监控及语音音箱及电话系统。
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。	拟购置环境辐射监测仪、表面剂量监测仪进行自测，且拟定期委托有监测资质的单位对周围环境、辐射工作场所、废水、废气进行监测。
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日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	每年1月31日前向发证机关提交年度评估报告。
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。	本项目辐射工作人员7名，已通过生态环境部开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行培训学习并考核合格。

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	本单位拟落实情况
5	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。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基本信息、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。	所有辐射工作的人员已配备个人剂量计，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	第二十四条 生产、销售、使用放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。	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“非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序”  
关于辐射安全防护设施要求对照表

序号	检查项目		本项目拟落实情况
1	A 场所 设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	场所分区布局设计合理、拟设相应标识
2		电离辐射警告标志	拟设置电离辐射警告标志
3		独立的通风设施	拟设独立的通风设施
4		治疗病房病人之间防护	新增项目不涉及治疗病房
5		给药操作人员屏蔽	拟配铅操作窗、铅衣、铅注射器等
6	A 场所 设施	易去污的工作台面	拟配专用注射柜
7		病人专用卫生间	拟设病人专用卫生间
8		放射性核素暂存场所或设施	源库拟设储存柜
9	B 监测 设备	表面污染监测仪	拟购表面污染监测仪
10		便携式辐射水平监测仪	拟购便携式辐射水平监测仪
11		个人剂量计	辐射工作人员已配备个人剂量计
12		个人剂量报警仪	拟购个人剂量报警仪
13	C 放 射性 废物	放射性废液处理排放系统及标识	拟设放射性废液衰变池
14		放射性固体废物暂存场所或设施	设置废物间，且拟购放射性废物桶

续表 12.6 项目执行“非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序”  
关于辐射安全防护设施要求对照表

序号	检查项目		本项目拟落实情况
15	D 防护 器材	个人防护用品	拟配备铅围裙、铅围脖等防护用品
16		放射性表面去污用品、防污材料	拟配放射性表面去污用品

表 12.7 项目执行“非密封放射性物质医学应用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规定	已制定辐射安全与防护管理制度
2		放射性药物管理规定	拟完善放射性药物管理制度
3	B 场所	场所分区管理规定	拟制定场所分区管理规定
4		操作规程	拟完善非密封放射源操作规程
5		辐射安全和防护设施维护维修制度	拟完善辐射安全和防护设施维护维修制度
6		放射性药物（体内）治疗病房管理规定	新项目不涉及病房设置
7	C 监测	监测方案	医院已制定相应监测方案，拟制定本项目的监测方案
8		监测仪表的使用管理制度	已制定监测仪表的使用管理制度
9	D 人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定辐射工作人员培训/再培训管理制度
10		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
11	E 应急	辐射事故/事件应急预案	拟完善辐射事故应急预案，拟修订辐射事故应急预案
12	F 三废	放射性“三废”管理规定	拟完善放射性废物处理制度

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：

新增丙级非密封放射性工作场所，使用 1 种放射性核素： $^{18}\text{F}$ ，内设一台 PET/MR 进行诊断。本项目位于山西医科大学第一医院综合实验楼一层。污染途径为 $\gamma$ 射线外照射及 $\beta$ 表面污染。

#### 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。

核医学科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

本项目核医学科位于综合实验楼一层，不毗邻产科、儿科等部门，楼上二三层现有食堂拟搬迁，和其他工作区域相邻，但不相通，设置有单独的出入口，与四周及上下方的非放射性工作场所完全隔开，场所相对独立，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求。

核医学科设有独立的出入口，可避免无关人员任意出入而受到不必要的辐射照射或扩大污染范围。控制区的入口和出口设置门禁系统等安全措施，限制患者或受检者的随意流动。人流、物流、药流均设置有单独路线，通过时间错位管理，互不交叉，因此项目整体布局合理。

#### 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，该医院新增核医学科场所及周围评价范围内环境 $\gamma$ 辐射剂量率监测值在（52~115）nGy/h 之间， $\beta$ 表面污染监测值在（0.12~0.13）Bq/cm<sup>2</sup>之间，属于正常辐射本底水平。

根据土壤采样检测结果，该医院新增核医学科场所周围采样土壤总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 分析测量值分别为 347Bq/kg、737Bq/kg，属于正常天然本底水平。采样土壤中核素  $^{18}\text{F}$  低于探测下限。

根据大气采样气溶胶检测结果，该医院新增核医学科拟安装气体排放口处<sup>18</sup>F分析测量值小于核素检测下限。

#### 13.1.4.2 剂量率预测评价

根据计算结果可知，核医学科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应小于 2.5 $\mu$ Sv/h”的限值要求。放射性药物注射窗外表面的周围剂量当量率满足 HJ1188-2021 中注射窗等屏蔽设备外表面 30cm 人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h 的限值要求。

#### 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，辐射工作人员的年附加有效剂量为 1.17mSv/a，低于本次评价 2.5mSv/a 的有效剂量约束值，与已运行核医学科外照射年最大有效剂量附加值叠加后仍能满足 5mSv/a 的有效剂量约束值。公众成员的年附加有效剂量为 0.059mSv/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) 该院本次核技术应用项目中，通过计算，丙级非密封放射性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。核医学科进行了分区管理，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、工作警示灯及电离警示标识，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) 核医学科设置有独立的放射性废液衰变池，衰变池的容积可以满足排放要求。放射性废液经衰变池衰变后能够得到有效处理，处理后废水再排入排水管网，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。废水的排放满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 中 4.2 及表 2 规定的总 $\beta$ 浓度小于 10Bq/L 的排放要求。

(3) 项目设计了放射性固废暂存污物间及暂存桶，放射性固体废弃物经污物间衰变暂存或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) 拟建核医学科单独设置了 3 套排风系统，排风管道单独设置，废气经过滤装置处理后引至本建筑物屋顶排放，对环境影响很小。

#### 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）《非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序》（文件编号 NNSA HQ-08-JD-IP-030）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**

山西医科大学第一医院新增丙级非密封放射性工作场所项目只要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) 加强核医学科日常的管理和监督。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公 章

年 月 日

审批意见：

经办人

公 章

年 月 日

## 附 图

附图 1：项目地理位置图

附图 2：山西医科大学第一医院平面布置及项目位置图

附图 3：本项目新建核医学科评价范围及敏感目标分布图

附图 4：综合实验楼一层现状平面布置图

附图 5：本项目新建核医学科平面布置图

附图 6：本项目新建核医学科辐射防护分区图

附图 7：本项目新建核医学科人流、物流图

附图 8：本项目新建核医学科排风平面布局图

附图 9-1：本项目新建核医学科衰变排水平面图

附图 9-2：本项目新建核医学科衰变池平、剖面图

附图 9-3：本项目新建核医学科衰变排水系统示意图

附图 10-1：本项目新建核医学科楼上二层现状图

附图 10-2：本项目新建核医学科楼上二层拟搬走示意图

附图 10-3：本项目新建核医学科楼上三层现状图

附图 10-4：本项目新建核医学科楼上三层拟搬走示意图

附图 11：本项目新建核医学科门禁系统图

## 附 件

附件一：项目委托书

附件二：辐射安全许可证

附件三：环境现状监测报告

附件四：土壤采样现状监测报告

附件五：大气采样环境现状监测报告

