

编号：B2022031FS

核技术利用建设项目

迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像
精准诊疗协同创新中心建设项目
(核技术利用项目)
环境影响报告表

(报审本)

山西医科大学

2022 年 7 月

核技术利用建设项目

迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像
精准诊疗协同创新中心建设项目
(核技术利用项目)
环境影响报告表

建设单位名称：山西医科大学

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：山西省太原市新建南路 56 号

邮政编码：030001

联系人：王红亮

电子邮箱：15903435153@163.com

联系电话：15903435153

编制单位和编制人员情况表

项目编号			
建设项目名称	迎泽校区北U教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目（核技术利用项目）		
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		
统一社会信用代码	1214000040570003XB		
法定代表人（签章）	李思进		
主要负责人（签字）	武志芳		
直接负责的主管人员（签字）	武志芳		
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
路呈祥	2016035140352015146005000122	BH004693	
2.主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
路呈祥	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。	BH004693	

姓名: 路呈祥
 Full Name: 路呈祥
 性别: 男
 Sex: 男
 出生日期: 1984.08.28
 Date of Birth: 1984.08.28
 职业资格: 注册监理工程师
 Professional Type: 注册监理工程师
 批准日期: 2016.03.31
 Approval Date: 2016.03.31

持证人签名:
 Signature of the Bearer

管理号: 201603514035
 File No.

2016年3月31日
 Issued on 2016.03.31

本证书持有者...
 会保障...
 人...
 等...
 This is to certify that the holder of this Certificate...
 is...
 approved & authorized by...
 Ministry of Human Resources and Social Security
 The People's Republic of China

approved & authorized by
 Ministry of Environmental Protection
 The People's Republic of China

编号: HP00019098
 No.

表 1 项目基本情况

建设项目名称		迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目(核技术利用项目)			
建设单位		山西医科大学			
法人代表	李思进	联系人	王红亮	联系电话	15903435153
注册地址		山西省太原市新建南路 56 号			
项目建设地点		山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层东区			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	7000	项目环保投资 (万元)	852.5	投资比例(环保投资/总投资)	12.2%
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)	995
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 checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他				
	<p>1、目的和任务的由来</p> <p>1.1 评价目的</p> <p>(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), 对该单位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。</p> <p>(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”。</p> <p>(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。</p> <p>2.2 任务由来</p> <p>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, 迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目(核技术利用项目)应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。</p>				

山西医科大学于 2021 年 10 月委托山西大地晋新环境科技研究院有限公司对迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目（核技术利用项目）进行环境影响评价。项目由山西医科大学承办建设，因此项目环评任务由山西医科大学委托。项目建设完成后由山西医科大学第一医院核医学科具体管理并实施使用，因此本报告中按照山西医科大学第一医院使用核技术利用项目进行评价，后期办理辐射安全许可证等事项均按照山西医科大学第一医院名义进行。

本项目位于山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层东区，该地点已取得山西省卫生健康委员会关于同意山西医科大学第一医院增加执业地点的批复，批复文号：晋卫医函【2021】77 号，详见附件二。

山西大地晋新环境科技研究院有限公司组织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、单位简介

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。

3、项目概述

3.1 项目选址及周边情况

本项目位于山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼，教学楼东侧为山西医科大学公共卫生学院，距离约 10m，东南侧为山西医科大学转化中心楼，距离约 28m，南侧为山西医科大学 3#教学楼，距离约 45m，西南侧为医科大学 2#教学楼，距离约 30m，西侧为新建南路，北侧为康乐街及医科大学家属楼，距离约 35m。教学楼边界外 50m 区域内分布人员主要是医科大学校园内学生及楼内各科室的工作人员、前来就诊的病患、陪护人员、路上行人、医科大学公共卫生学院及转化中心楼和教学楼内师生、医科大学家属楼居民。本次环评的核医学科工作场所，共计约 995 平米，场所楼上为模拟教学公益平台及培训教室、办公室、实验室等，楼下为土层，层高 4m/3.6m。

周围四邻关系图详见附件 2。

3.2 项目周边保护目标情况

1 号教学楼边界外 50m 区域内分布人员主要是医科大学校园内学生及楼内各科室的工作人员、前来就诊的病患、陪护人员、医科大学公共卫生学院及转化中心楼和教学楼内师生、医科大学家属楼居民。

3.3 项目建设规模

本项目主要为核技术利用项目防护设施施工及设备安装等，包括放射性药物场所、SPECT/CT 显像区、PET/CT 显像区、PET/MR 显像区（非密封放射性物质使用场所）及辅助用房（设备间、更衣室等），具体内容及规模见表 1.1。

表 1.1 工程组成一览表

项目	建设内容	
主体工程	建设内容	储源室、分装室、注射准备室、注射室、注射后候诊室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房、留观室、废物库等（具体做法详见表 10）
	使用情况	①PET/CT 显像、PET/MR 显像： ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{82}Sr - ^{82}Rb 、 ^{68}Ga 。 ②SPECT/CT： $^{99\text{m}}\text{Tc}$
辅助工程	办公室、控制室、就诊候诊区、更衣室等	
公用工程	供配电、通讯等	
环保工程	屏蔽防护设施、移动铅屏风、视频监控和对讲广播、废水衰变系统、放射性废物桶及储源柜、放射性废气净化设施、个人防护用品、通风柜、辐射监测仪器、注射窗、注射器铅套等。	

4、核技术利用及辐射安全管理现状

（1）核技术利用基本情况

山西医科大学第一医院于 2021 年 8 月 31 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、III 类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所。

该院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 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 取得环评批复，正在办理辐射安全许可证外，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。

（2）辐射安全管理情况

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；并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。

医院已制订了完善的规章制度，且分解到各个涉及核技术利用科室具体执行，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。

5、项目辐射防护及环保措施投资

表1.2 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	各机房射线屏蔽措施	680
	安全措施	机房设置门机联锁装置、辐射报警灯和声音报警、辐射剂量监测与门联锁；辐射工作场所外张贴警示标志、安装工作指示灯和急停按钮；防护门内、外设置固定式剂量监测探头；机房内外设视频监控等。	
	通风设施	设机械通风设施，使用专用通风管道引致楼顶排放，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、衰变池等。	
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。	3.5
	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。	25.0
监测仪器和防护用品配备	监测仪器	场所固定剂量监测仪、便携式 α 、 γ 剂量仪、表面污染检测仪等。	55.0
	个人剂量计	个人剂量率仪、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。	30.0
	环保手续	环境影响评价及竣工环境保护验收。	25.0
	日常管理	日常档案管理、年度评估报告上报等。	20.0
	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			852.5

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	⁹⁰ Sr	7.4×10 ⁹ ×1 枚	V	1964.1.1	使用	敷贴器	乙级非密封放射性工作场所	源库	放射源编码：0064SR133055 验收文件：晋环函【2015】123 号
2	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ ×1 枚	V	2018.7.31	使用	校正源	PET/CT 机房	贮存在源库	放射源编码：TR18GE001425
3	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ ×1 枚	III	2020.6.20	使用	治疗	二号住院楼一层放疗科后装机房	后装机房后装机头内	放射源编码：NL20IR002613 2020.11 自主验收(委托技术机构)
4	⁵⁷ Co	4.44×10 ⁸ ×1 枚	V	/	使用	校准源	D-SPECT 机房	铅罐内/放射源储存柜内	备案号：202114010600000018
5	⁵⁷ Co	4.44×10 ⁸ ×1 枚	V	/	使用	校准源	SPECT/CT 机房	铅罐内/放射源储存柜内	本次非密封放射性物质使用场所 校准源 备案号：202214010600000019
6	⁶⁸ Ge	1.11×10 ⁸ ×1 枚	V	/	使用	校准源	PET/CT 机房	铅罐内/放射源储存柜内	
7	⁶⁸ Ge	7.4×10 ⁷ ×1 枚	V	/	使用	校准源	PET/MR 机房	铅罐内/放射源储存柜内	

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	¹³¹ I	液体	使用	2.78×10 ¹⁰	2.78×10 ⁹	4.8×10 ¹¹	诊断/治疗	简单	铅罐内/源库	验收文件： 晋环函【2015】123 号 场所：医技楼四层
2	⁹⁹ Tc ^m	液体	使用	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	2.78×10 ¹²	诊断	很简单	铅罐内/母牛发生器室	
3	¹²⁵ I	液体	使用	7.4×10 ⁶	7.4×10 ⁴	7.4×10 ⁴	诊断	很简单	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
4	¹⁵³ Sm	液体	使用	5.55×10 ⁸	5.55×10 ⁶	2.66×10 ¹⁰	治疗	很简单	源库	验收文件： 晋环函【2015】123号 场所：医技楼四层
5	⁸⁹ Sr	液体	使用	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁶	7.4×10 ¹⁰	治疗	很简单	源库	
6	¹⁸ F	液体	使用	5.55×10 ¹⁰	5.55×10 ⁷	1.11×10 ¹²	诊断	很简单	回旋加速器热室	验收文件： 晋环函【2015】123号 场所：医技楼负一层
7	¹¹ C	液体	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷	3.55×10 ¹¹	诊断	很简单	回旋加速器热室	
8	¹⁵ O	液体	使用	3.70×10 ¹⁰	3.7×10 ⁷	4.44×10 ¹¹	诊断	很简单	回旋加速器热室	
9	¹³ N	液体	使用	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	1.33×10 ¹¹	诊断	很简单	回旋加速器热室	
10	¹²⁵ I 粒籽源	固体	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	7.4×10 ¹¹	治疗	很简单	源库	自主验收 场所：医技楼负一层
11	⁶⁸ Ga	液体	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁶	1.85×10 ¹¹	诊断	很简单	源库	尚未开展
12	¹⁷⁷ Lu	液体	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹¹	诊断/治疗	很简单	源库	
13	⁸² Rb	液体	使用	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁶	3.7×10 ¹¹	诊断	很简单	源库	
14	⁶⁴ Cu	液体	使用	2.96×10 ⁹	2.96×10 ⁶	1.42×10 ¹¹	诊断/治疗	很简单	源库	
15	²²³ Ra	液体	使用	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁷	1.11×10 ⁹	治疗	很简单	源库	
16	⁹⁰ Y	液体	使用	7.40×10 ⁸	7.40×10 ⁷	7.40×10 ¹¹	治疗	简单	源库	2021.8.31 取得辐射安全许可证，尚未使用。
17	⁹⁹ Tc ^m	液体	使用	2.1×10 ¹⁰	2.1×10 ⁷	6.3×10 ¹²	诊断	很简单	铅罐内/母牛发生器室	场所：5号住院楼二层 已批复，正在办理辐射安全许可证

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
18	⁹⁹ Tc ^m	液体	使用	1.60×10 ¹⁰	1.6×10 ⁷	4.0×10 ¹²	SPECT/CT 显像	很简单	储源室铅罐内	<p style="text-align: center;">本次使用核素 场所：山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层东区</p>
19	¹⁸ F	液体	使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁶	1.39×10 ¹²	PET/CT 显像 PET/MR 显像 PET/CT 显像 PET/MR 显像	很简单	储源室铅罐内	
20	⁶⁴ Cu	液态	使用	1.11×10 ⁹	1.11×10 ⁷	3.70×10 ¹⁰		简单	储源室铅罐内	
21	⁸² Sr- ⁸² Rb	液态	使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁷	1.85×10 ¹¹		简单	储源室铅罐内	
22	⁶⁸ Ga	液态	使用	2.22×10 ⁹	2.22×10 ⁷	7.40×10 ¹⁰		简单	储源室铅罐内	

备注：

- (1) ⁹⁹Tc^m：每人最大用量 8.0×10⁸Bq (21.6mCi)，日最大检查诊疗 20 人，年最大诊疗人数 5000 人(每周5天 年50周)。
- (2) ¹⁸F：每人最大用量 3.70×10⁸Bq (10mCi)，日最大检查诊疗 15 人，年最大诊疗人数 3750 人(每周5天 年50周)。
- (3) ⁶⁴Cu：每人最大用量 3.70×10⁸Bq (10mCi)，日最大检查诊疗 3 人，年最大诊疗人数 100 人(每周2天 年17周)。
- (4) ⁸²Rb：每人最大用量 1.85×10⁹Bq (50mCi)，日最大检查诊疗 3 人，年最大诊疗人数 100 人(每周2天 年17周)。
- (5) ⁶⁸Ga：每人最大用量 3.7×10⁸Bq (10mCi)，日最大检查诊疗 6 人，年最大诊疗人数 200 人(每周2天 年17周)。

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：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	验收文件： 晋环函 【2015】123 号
2	医用直线加速器	II	1	Clinac 321X	电子	15	粒子能量小于 100 兆电子伏的医用加速器	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	医技楼负一层：放疗模拟室	验收文件： 晋环函【2015】 123 号
2	PET/CT	III	1	GE Discov	140	800	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	医技楼负 1F：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	门诊楼一层：骨密度室	
4	移动 X 光机	III	1	MM10	125	160	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	发热门诊	
5	普通照相机	III	1	Philips	150	900	医用诊断 X 射线装置	门诊楼一层：摄影 1 室	
6	64 排 CT 机	III	1	Lightspeed	140	714	血管造影用 X 射线装置	医技楼二层;CT 扫描 1 室	
7	DR 双驱系统摄像机	III	1	TH/VS	150	800	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	医技楼三层：摄影 2 室	
8	心血管 X 造影仪	II	1	AXIOM Artis	150	1000	放射治疗模拟定位装置	医技楼五层手术室 1	
9	血管造影机	II	1	Philips FD-20	125	1250	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	医技楼六层 DSA1	

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
10	CT	III	1	Emotion	140	50	医用诊断 X 射线装置	门诊楼一层 A 区急诊 CT 扫描室 2	验收文件： 晋环函【2015】 123 号
11	岛津胃肠机	III	1	Safire 17	150	1000	医用诊断 X 射线装置	医技楼三层：造影室	
12	体外冲击波治疗仪	III	1	HK.ESWO-AJ I I	100	50	医用诊断 X 射线装置	门诊三层骨科体外冲击波治疗室	
13	G 型臂	III	1	BIPLANAR	110	10	医用诊断 X 射线装置	住院部手术室	
14	移动照相机	III	1	MVX-100J	150	160	医用诊断 X 射线装置	五号楼三层：放射室	
15	口腔全景 X 机	III	1	OPHTHORALIX920 0	80	12	医用诊断 X 射线装置	门诊四层：口腔放射室	
16	移动式 X 机	III	1	GE OEC.Fluorostor	110	3	医用诊断 X 射线装置	住院部手术室	
17	CT	III	1	IQon SpectralCT	140	1000	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	博爱医院一层 CT 室 (山大一院管理)	
18	SPECT-CT	III	1	Symbia T16 SIEMENS	130	345	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	医技楼四层：SPECT/CT 室 2	
19	乳腺 X 射线摄影系统	III	1	Selenia Dimensions	49	200	医用诊断 X 射线装置	医技楼三层：乳腺摄影室	验收文件： 并环辐验 (2017) 005 号
20	数字化医用 X 线摄影系统(双板)	III	1	VX3733-SYS	150	800		医技楼三层：造影室	
21	数字化医用 X 线摄影系统(单板)	III	1	VX3733-SYS	150	800		五号楼三层：放射室	
22	数字胃肠造影	III	1	Uni-Vision	150	800		门诊一层：造影室	
23	移动式数字摄影 X 线系统	III	1	MUX-200D	133	200		一号楼普放	

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	医用 X 射线摄影系统	III	1	CCD-DR	150	630	医用诊断 X 射线装置	骨科门诊：骨科照相	验收文件： 并环辐验 (2017) 005 号
25	泌尿检查 X 射线系统	III	1	UROSOP Omnia	100	650		一号楼十二层 泌尿外科诊疗室	
26	口腔 CT	III	1	NewtomVGI	110	20	口腔（牙科）X 射线装置	门诊四层：口腔放射室	
27	体外冲击波碎石机	III	1	Duet Magna	110	9	医用诊断 X 射线装置	门诊七楼 泌尿外科碎石中心	
28	PET/CT	III	1	Discovery MI Columbia	140	600	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	医技楼负一层：PET/CT(控制室 2)	2018 年 8 月 自主验收
29	SOMATOM ForceCT	III	1	SOMATOM Force	150	1300×2		5 号住院楼一层：CT 扫描室	
30	血管造影机	II	1	UNIQ FD10	125	1250	血管造影用 X 射线装置	门诊一楼心导管室手术间	2019 年 10 月 自主验收
31	血管造影机	II	1	UNIQ FD20	125	1250		医技楼五层手术室 2	
32	双能 X 线骨密度仪	III	1	ProdiHy Advance	70	3	医用诊断 X 射线装置	五号住院楼三层骨密度室	
33	C 形臂	III	1	BV Pulsera	125	180		医技楼七层：消化内镜 ERCP 治疗室	
34	数字化摄影 DR	III	1	Digital Diahnost 3	150	800		门诊一层：摄影 2 室	
35	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	
36	移动 DR	III	1	YDR-YD-4	150	500		1 号住院部一层	
37	双能 X 线骨密度仪	III	1	GE LUNAR Prodig	140	10		门诊五楼内分泌科	已领取辐射安全许可证，拟购

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
38	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	医技楼六层：DSA2	2021.3.25 自主验收
39	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	医技楼六层：CT 室	已领取辐射安全许可证
40	SBR 3D-2 型口腔 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	门诊四楼：耳鼻喉头颈外科 CT 室	
41	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	二楼一层：放疗科大孔径螺旋 CT 机房	
42	Neuviz 128CT	III	1	Neuviz128	140	430		原门诊楼一层 A 区：急诊 CT 扫描室 2 已有设备 (拟搬迁至感染科心血管研究所楼一层 CT 室)	
43	血管造影 X 射线系统	II	1	UNIQ FD20	125	1000	治疗	一号楼二层：复合手术室	2021.3.25 自主验收
44	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	医技楼七层呼吸气管镜室	已领取辐射安全许可证
45	移动式 X 射线机	III	1	BIPLANAR500e	110	8		1 号住院楼 3 层手术室	
46	数字口内牙片机系统	III	1	BELIODENT PLUS D3507	70	7		口腔 (牙科) X 射线装置	
44	医用血管造影 X 射线系统	II	1	/	125	1000	治疗	急诊医学中心创伤复苏单元	

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
45	PET/CT	III	1	/	140	833	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层 PET/CT 室	本次使用设备 备案号： 202214010600 000019
47	SPECT/CT	III	1	/	140	600		山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层 SPECT/CT 室	

(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	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、棉签等）	固体	⁹⁹ Tc ^m ¹⁸ F ⁶⁴ Cu ⁸² Sr- ⁸² Rb ⁶⁸ Ga	/	38.13kg	457.5kg	暂存超过30天	分期收集于放射性废物桶中，转移至废物储藏间衰变贮存。	达到清洁解控水平后当普通医疗废物处理。
废旧活性炭及失效过滤器			/	/	20kg/a	$\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$		
退役校准放射源	固态	⁶⁸ Ge ⁵⁷ Co	/	/	/	/	/	返回原生产单位
报废的发生器	固态	⁸² Sr- ⁸² Rb发生器	/	/	/	/	专用容器固废间暂存	厂家回收处理
含放射性核素的废水	液体	⁹⁹ Tc ^m ¹⁸ F ⁶⁴ Cu ⁸² Sr- ⁸² Rb ⁶⁸ Ga	/	13.375m ³	160.5m ³	总 β 不大于10Bq/L	衰变池	经检测达标后，活度浓度不大于10Bq/L后，排入医院污水管网。
剩余放射性药物残液			/	/	/	$\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$		
废气	气态	⁹⁹ Tc ^m ¹⁸ F ⁶⁴ Cu ⁸² Sr- ⁸² Rb ⁶⁸ Ga O ₃ NO _x	/	/	/	/	/	极微量废气经高效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/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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日起施行）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月）；</p> <p>(4) 《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>(5) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 修订）（2021 年 1 月 4 日）；</p> <p>(6) 《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>(7) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理报告制度的通知》，原国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》2021 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(9) 《放射性废物管理条例》，中华人民共和国国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起实施；</p> <p>(10) 《关于发布射线装置分类的公告》环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 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；</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) 太原市人民政府办公室关于印发太原市辐射事故应急预案的通知（并政办发〔2022〕9 号），2022 年 2 月 23 日发布。</p>
------------------	--

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(2) 《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>(3) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(4) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</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) 《表面污染测定第 1 部分β发射体（$E_{\beta\max}0.15\text{MeV}$）和$\alpha$发射体》（GB/T 14056.1-2008）；</p> <p>(10) 《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》（GB/T16148-2009）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 山西医科大学环境影响评价委托合同；</p> <p>(2) 山西医科大学提供的辐射防护设计图；</p> <p>(3) 辐射安全手册--潘自强--2011.11；</p> <p>(4) 生态环境部发布的 2020 年全国辐射环境质量报告。</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，乙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评价范围为：核医学科项目四周实体边界为中心半径 50m 的范围。



图 7.1 核医学科评价范围示意图

7.2 保护目标

本项目位于医院南侧的山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼，教学楼东侧为山西医科大学公共卫生学院，距离约 10m，东南侧为山西医科大学转化中心楼，距离约 28m，南侧为山西医科大学 3# 教学楼，距离约 45m，西南侧为医科大学 2# 教学楼，距离约 30m，西侧为新建南路，北侧为康乐街及医科大学家属楼，距离约 35m。教学楼边界外 50m 区域内分布人员主要是医科大学校园内学生及楼内各科室的工作人员、前来就诊的病患、陪护人员、医科大学公共卫生学院及转化中心楼和教学楼内师生、医科大学家属楼居民（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情况概述及环境保护目标一览表

辐射工作场所	方位	相邻场所及距离 (m)	保护目标	数量 (人)
核医学科	东侧	校内道路 (0-10m)	/	/
		山西医科大学公共卫生学院 (10-50m)	公众成员	200
	东南侧	校内道路 (0-28m)	/	/
		山西医科大学转化中心楼 (28-50m)	公众成员	200
	南侧	医科大学校园 (0-45m)	/	/
		山西医科大学 3#教学楼 (45-50m)	公众成员	200
	西侧	实验区 (0-50m)	公众成员	30
	北侧	康乐街 (0-35m)	/	/
		医科大学家属楼 (35-50m)	公众成员	240
	楼上	培训教室、办公室、实验室等 (3.6m)	公众成员	30
工作场所内	/	辐射工作人员	12	

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、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)等,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表 7.2。

表 7.2 本项目有效剂量约束值及周围剂量当量率控制目标值一览表

场所	职业人员有效剂量约束值及周围剂量当量率控制目标值		评价指标
核医学科	有效剂量约束值	职业人员	≤5mSv/a
		公众人员	≤0.1mSv/a
	四面屏蔽墙及机房顶外 30cm 处的周围剂量当量率控制目标值		≤2.5μSv/h
	β表面污染	(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
	放射性固体废物	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: 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	

续表 7.2 本项目有效剂量约束值及周围剂量当量率控制目标值一览表

场所	项目名称		评价指标	
核医学科	放射性 固体废物	超过 30 天； b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍； 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。 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： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。 本项目固体废物外表面的污染控制水平执行： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。		
		放射性 废水	对于槽式衰变池贮存方式： a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放； b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 β 不大于 10Bq/L。	
	^{18}F		一次排放活度	$6.90 \times 10^8 \text{Bq}$
			月排放总活度	$6.90 \times 10^9 \text{Bq}$
	$^{99}\text{Tc}^m$		一次排放活度	$8.62 \times 10^8 \text{Bq}$
			月排放总活度	$8.62 \times 10^9 \text{Bq}$
	^{64}Cu		一次排放活度	$1.33 \times 10^8 \text{Bq}$
			月排放总活度	$1.33 \times 10^9 \text{Bq}$
	^{82}Rb		一次排放活度	$9.09 \times 10^7 \text{Bq}$
			月排放总活度	$9.09 \times 10^8 \text{Bq}$
	^{68}Ga		一次排放活度	$2.00 \times 10^8 \text{Bq}$
		月排放总活度	$2.00 \times 10^9 \text{Bq}$	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置

山西医科大学位于迎泽区新建南路 56 号，本项目位于迎泽校区 1 号教学楼。地理位置图见附件 1。

8.2 评价区环境地表 γ 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，2021 年 11 月 18 日由杭州旭辐检测技术有限公司对本次环评对象所在场所及评价区内环境地表 γ 辐射剂量率进行检测。

8.2.1 监测内容

环境地表 γ 辐射剂量率

8.2.2 监测的环境条件及工况

环境温度-3℃；相对湿度 45%；天气 晴。

8.2.3 监测仪器

仪器名称：环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪；

能量响应：48KeV~3MeV $\leq\pm 30\%$ （相对于 137Cs）；

量程：1nGy/h~200 μ Gy/h，1nSv/h~200 μ Sv/h；

校准有效期：2021 年 5 月 31 日-2022 年 5 月 30 日；

检定机构：上海市计量测试技术研究院；

检定证书编号：2021H21-10-3324684001。

8.2.4 监测依据

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）。

8.2.5 监测布点

本次对核医学科场所评价范围内及楼上有代表性的功能房间中央距地面 1m 高度进行环境地表 γ 辐射剂量率现状检测，布点详见附件检测报告。

8.2.6 质量保证措施

- （1）使用的仪器经上海市计量测试技术研究院检定，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。
- （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

表 8.1 评价范围内环境地表 γ 辐射剂量率监测结果

检测 点位号	点位描述	检测结果 (nGy/h)	
		平均值	标准差
1	一层 PET/CT 机房中央	94	0.95
2	一层 PET/MR 机房中央	94	0.87
3	一层 PET 区域走廊	92	0.67
4	一层污洗间外走廊	93	0.32
5	一层 ^{18}F 注射后候诊室中央	93	0.87
6	一层 ^{18}F 注射后 VIP 候诊室中央	93	0.67
7	一层 ^{99}Tc 注射后候诊室中央	91	1.09
8	一层 ECT 区域走廊	92	0.63
9	一层分装室中央	92	0.95
10	一层 ECT 机房中央	96	0.83
11	二层培训教室中央	96	1.90
12	二层人工智能研究软件开发室中央	98	1.80
13	二层协同中心 PI 室中央	98	2.47
14	2#教学楼东侧	97	1.37
15	3#教学楼北侧	95	0.71
16	医科大学转化中心楼西侧	95	1.06
17	医科大学公共卫生学院西侧	98	1.64
18	医科大学家属楼南侧	98	2.07

备注：未扣除宇宙射线的响应值。

由检测结果可知，该医院核医学科及评价范围内环境地表 γ 辐射剂量率监测值在(91~98) nGy/h 之间，根据生态环境部发布的“2020 年全国辐射环境质量报告”，山西省空气吸收剂量率为(79.0~92.4) nGy/h，因此本项目评价范围内的环境 γ 辐射剂量率属于正常的辐射本底水平。

8.2 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，2021 年 11 月 23 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。

8.2.1 监测内容

土壤中总β及本项目应用核素 ($^{99}\text{Tc}^m$ 、 ^{18}F 、 ^{82}Rb 、 ^{68}Ga)

8.2.2 采样日期

2021年11月23日

8.2.3 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，分别是在一层核医学科场所内布置3个采样点（1#、2#、3#），在核医学科北侧康乐街绿化带中采样1处（5#），在核医学科南侧绿化草地取样1处（4#）。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3kg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：

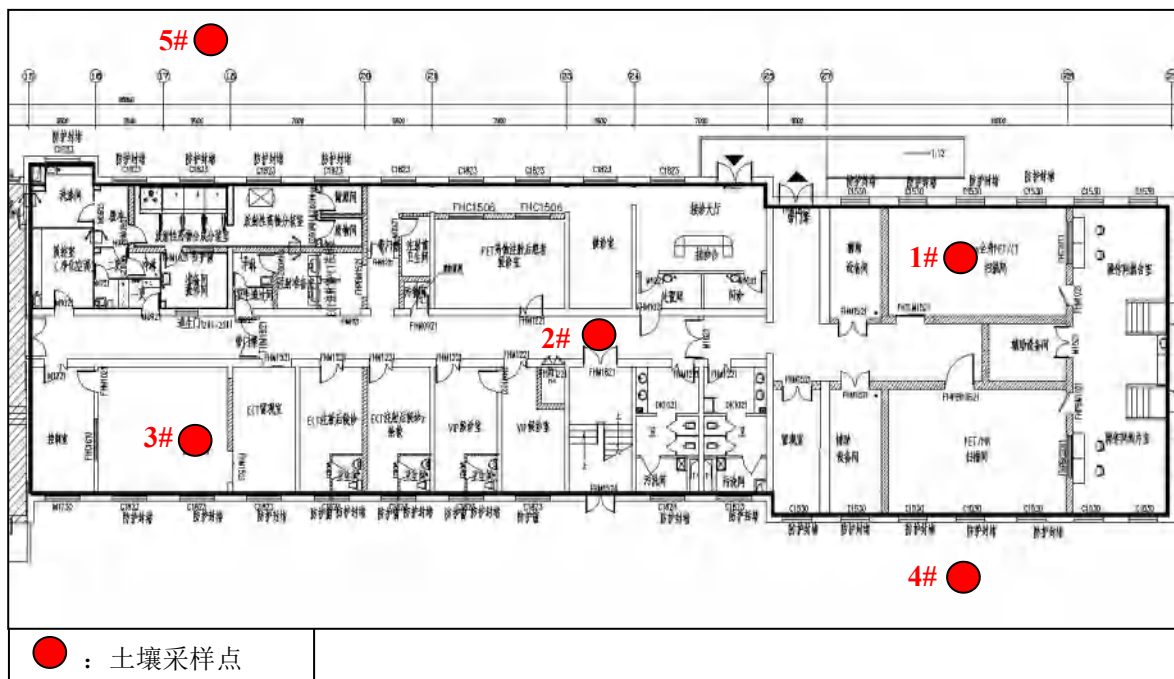


图 8.1 本项目土壤监测采样布点图

8.2.4 监测依据

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
《水中总 a 放射性浓度的测定厚源法》EJT1075-1998；
《水中总β放射性测定蒸发法》EJ/T900-1994；
《土壤中放射性核素的γ能谱分析方法》GB/T 11743-2013。

8.2.5 土壤中应用核素监测结果

该医院核医学科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	$^{99}\text{Tc}^m$	<0.72	/
2	^{18}F	<0.75	/
3	^{82}Rb	<5.5	/
4	^{68}Ga	<26	/
5	总β	760	/

由检测分析结果可知，采样土壤总 β 分析测量值为 760Bq/kg，属于正常天然本底水平。采样土壤中各应用核素均低于探测下限。

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 非密封源工作场所分级

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。”

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：

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

核医学常用放射性核素毒性组别修正因子根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D、《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 号文选取，核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子见表 9.1。

表 9.1 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
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	¹⁸ F、 ^{99m} Tc（液态）	很简单操作	10
	¹²⁵ I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	¹³¹ I（液态）	简单操作	1

根据建设单位提供的日最大操作量，并考虑所有核素同一天内均使用的情况下，确定核医学科使用的放射性同位素日最大等效操作量见下表。

表 9.2 医院核医学科使用的放射性同位素日最大等效操作量

核素名称	实际日最大操作量(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)	日等效最大操作量合计(Bq)	场所等级
⁹⁹ Tc ^m	1.60×10 ¹⁰	0.01	很简单	10	1.60×10 ⁷	1.10×10 ⁸	乙级
¹⁸ F	5.55×10 ⁹	0.01	很简单	10	5.55×10 ⁶		
⁶⁴ Cu	1.11×10 ⁹	0.01	简单	1	1.11×10 ⁷		
⁸² Sr- ⁸² Rb	5.55×10 ⁹	0.01	简单	1	5.55×10 ⁷		
⁶⁸ Ga	2.22×10 ⁹	0.01	简单	1	2.22×10 ⁷		

9.1.2 核医学科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 9.3 医院核医学科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	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	$^{99\text{Tc}^{\text{m}}}$	6.02h	同质异能跃迁	—	0.140	0.0303	低毒	SPECT 显像	外购
2	$^{18\text{F}}$	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143	低毒	PET 显像	外购
3	$^{64\text{Cu}}$	12.7h	B^- , β^+ , EC	0.65 (+)	0.511	0.029	低毒		外购
4	$^{82\text{Rb}}$	76s	β^+ , EC	3.35 (+)	0.511	0.159	低毒		外购
5	$^{68\text{Ga}}$	68.3min	β^+ , EC	1.9 (+)	0.511	0.134	低毒		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）附录 H。

9.1.3 乙级非密封放射性工作场所应用 $^{18\text{F}}$ 等标记药物在 PET/CT、PET/MR 下开展显像诊断

(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、定量的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”。

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。PET/CT 是 PET 和 CT 技术的结合，CT 是一种临床广泛应用而又仍在迅速发展的 X 线成像技术，在显示解剖结构、形态和密度等方面具有优势。

将两种检查设备整合到一起，即形成现在的 PET/CT 技术。二者的结合起到优势互补、相互配合、互为对照的作用。PET 通过与 CT 结合，提高病灶定位的准确性。还有另一方面的价值，即可以大大缩短 PET 的检查时间，从而提高仪器和正电子药物的使用效率。

本次项目 PET/CT 机房评价时，将 PET/CT 作为 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，本报告在对 PET/CT 机房辐射剂量计算时，同时考虑了注射了药物的病人的 γ 射线和 CT 机运行的 X 射线的双重影响。

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，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}F 、 ^{64}Cu 、 ^{82}Rb 、 ^{68}Ga ，具体用量详见表 9.2。

其中应用最多的核素为 ^{18}F ，应用短命核素 ^{18}F （正电子核素）为示踪剂， ^{18}F FDG 可准确反映体内器官/组织的葡萄糖代谢水平，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}F FDG）后，大多数肿瘤病灶会表现为对 ^{18}F FDG 的高摄取，因此可应用 ^{18}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}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）操作流程简述

根据患者情况购买核素→核素购回后进行注射→收集放射性废物→病人到 PET 机房→关闭机房铅门显影扫描。具体如下：

①预约登记：根据医生的指导意见，需要接受全身或脏器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。

②药物订购及接收：核医学科辐射工作人员根据患者用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科储源室，辐射工作人员在储源室内清点并接收药物，将药物放入储源室同位素保险柜内暂存。

③药物分装：辐射工作人员从储源室取出所需放射性药物放置于通风橱内，使用活度计检测药物的总活度，按每位患者所需的剂量进行分装，分装后的药物暂存于一次性注射器中，便于注射。

^{18}F 一次性操作的最大活度为 10mCi，分装操作时间 1min/人次。分装、注射人员 2 人轮流操作，一年最多 3750 个病人。

^{64}Cu 一次性操作的最大活度为 10mCi， ^{82}Rb 一次性操作的最大活度为 50mCi， ^{68}Ga 一次性操作的最大活度为 10mCi，分装操作时间均为 1min/人次。分装、注射人员 2 人轮流操作，各类核素一年最多 100 个病人。

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达注射室注射窗口，护士取出准备

好的药物通过注射窗口给患者注射，注射操作时间 1min/人次。

⑤给药后候诊：给药后的受检者按提示进入 PET 药物注射后候诊室休息，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。

⑥扫描准备：患者根据提示，沿患者专用通道进入 PET/CT 或 PET/MR 扫描间，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 或 PET/MR 扫描间与控制室连接的对讲设备指导患者摆位，特殊情况下需进入扫描间内现场指导摆位，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 或 PET/MR 扫描：技师进入扫描控制室，关闭扫描间的各侧防护门，在邻室操控设备，进行扫描，得到扫描结果。由医师对扫描图像进行分析，作出诊断报告并签字。PET/CT 完成 1 名患者的全身扫描时间约 15~20min，PET/MR 完成 1 名患者的全身扫描时间约 30~40min。

⑧患者留观：扫描结束后，患者根据提示进入 PET 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 5~10 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。

⑩⁸²Sr-⁸²Rb

⁸²Rb 是 ⁸²Sr 的一个放射性子体，以发射正电子而衰变，半衰期 76s，⁸²Rb 静脉注射其分布与血流有关，对于大多数组织首次血流流过时，进入细胞量高达 70%-80%，临床一般用于心肌灌注显像，评价心脏功能。

⁸²Rb 通过 ⁸²Sr-⁸²Rb 发生器制备得到，⁸²Sr-⁸²Rb 发生器为带自屏蔽的的发生器，该自屏蔽的发生器购回后贮存在储源间，由于 ⁸²Rb 半衰期仅 76s，该药物注射过程为在 PET-CT 机房边显像边注射，所以根据预约病人的情况，将该自屏蔽发生器提前提至核医学科一层 PET-CT 机房，然后显像的过程进行中同时注射。

(3) 产污环节

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，也会产生固体废弃物。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，应用核素药物在 PET/CT 下开展显像诊断污染因子主要有 γ 射线、 β 表面污染。

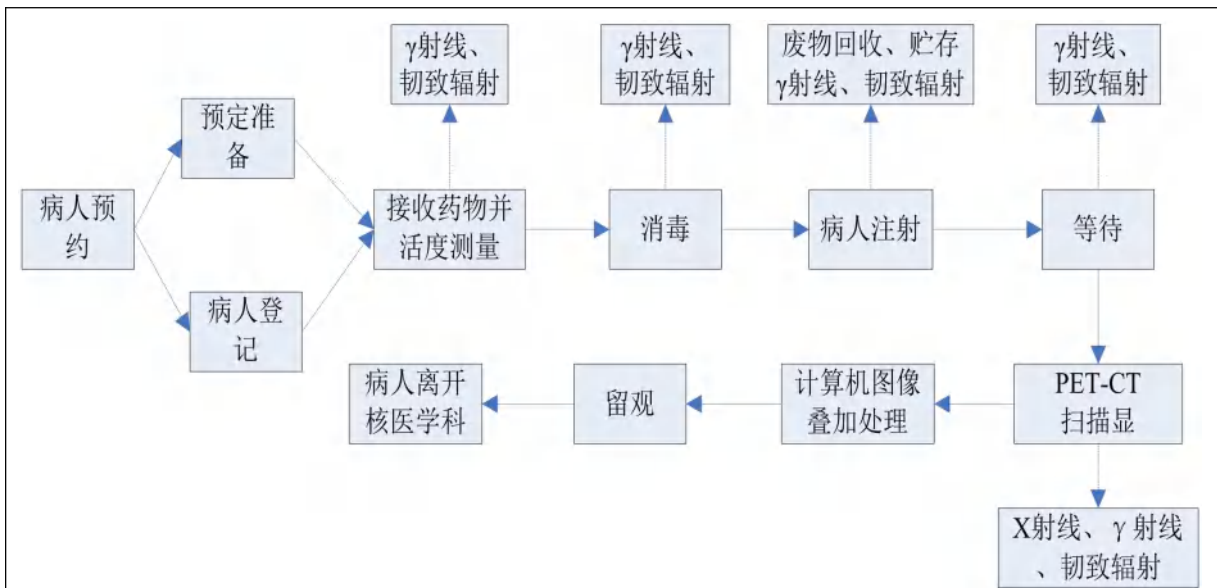


图 9.1 PET/CT 显像检查工作流程图

(4) 放射源

SPECT/CT、PET/CT、PET/MR 配套的校准放射源（均属 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。密封放射源的相关参数见下表。

表 9.4 密封放射源的相关参数

核素名称	活度 (Bq) × 枚数	类别	状态	使用场所	半衰期
^{57}Co	$4.44 \times 10^8 \times 1$ 枚	V	固体	SPECT/CT 机房	271d
^{68}Ge	$1.11 \times 10^8 \times 1$ 枚	V	固体	PET/CT 机房	5.27a
^{68}Ge	$7.4 \times 10^7 \times 1$ 枚	V	固体	PET/MR 机房	5.27a

^{57}Co 主要能量 0.122MeV， ^{68}Ge 主要光子能量 0.093MeV，可对人员产生外照射。但由于其活度低且在屏蔽状态下使用，正常状态下相对于非密封核素而言，其外照射危害可以忽略。校准源平常储存于核医学科储源室，根据工作需要，由辐射工作人员从储源间取出用于性能的校准，校准完后归还到储源间储存。

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露，因此在正常情况下， γ 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。

9.1.4 乙级非密封放射性工作场所应用 ^{99m}Tc 标记药物在 SPECT/CT 下开展显像诊断

(1) 工作原理

SPECT/CT 是 SPECT 和 CT 技术的融合，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”。而 CT 是一种临床广泛应用而又仍在迅速发展的 X 射线成像技术，在显示解剖结构、形态和密度等方面具有优势。将两种检查设备整合到一起，即形成现在的 SPECT/CT 技术。二者的结合起到优势互补、相互配合、互为对照的作用。SPECT 通过与 CT 结合，提高了病灶定位的准确性。

该院 SPECT/CT 主要使用 ^{99m}Tc 作为显像核素， ^{99m}Tc 为 ^{99}Tc 的同质异能素，IT% \approx 100%，半衰期为 6.02 小时。发生 IT 跃迁时释放 γ 射线，能量为 140keV， ^{99m}Tc 主要用于全身或局部显像，诊断骨关节疾病、原发或转移骨肿瘤疾病等，成人一般静脉注射最大量为 800Mbcq (21.6mCi)，3 小时后显像。

本项目显影诊断及治疗使用 ^{99m}Tc 核素，放射性药物是根据使用量由放射性药物生产公司直接配送，暂存于储源室，当天到货当天使用。

(2) 工艺及操作流程

①预约登记：根据医生的指导意见，需要接受脏器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：核医学科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科储源室，辐射工作人员在储源室内清点并接收药物，将药物放入储源室同位素保险柜内暂存。

③药物注射：准备好的受检者听从指引通过专用患者通道到达注射窗口，注射人员取出准备好的药物通过注射窗口给患者注射， ^{99m}Tc 一次操作最大活度 $8.0\times 10^8\text{Bq}$ (21.6mCi)，日最大检查诊疗 20 人，每次注射时间平均约 1min/每人。

④给药后候诊：给药后的受检者按提示进入 ECT 候诊室，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。

⑤扫描准备：患者根据提示，沿患者专用通道进入 SPECT/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。

⑥SPECT/CT 扫描：技师进入 SPECT/CT 控制室，关闭机房防护门，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，作出诊断报告并签字。

⑦患者留观：扫描结束后，患者根据提示进入 ECT 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。

⑧离开：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

根据工艺流程可知，⁹⁹Tc^m 标记药物作 SPECT 诊断对工作环境造成的影响主要是标记溶液和注射标记液后的病人对工作人员的γ射线外照射、药液对工作台面及地面等造成表面污染。因此，污染因子主要有γ射线、β表面污染。

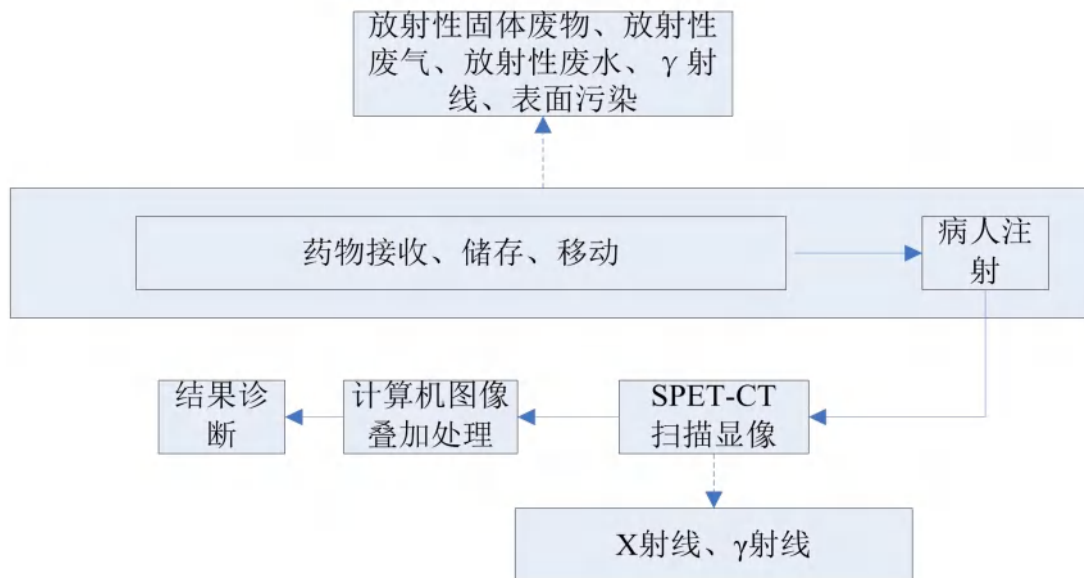


图 9.2 注射 ⁹⁹Tc^m 标记药物在 SPECT-CT 下开展显像诊断流程图

9.2 污染源项描述

项目营运期产生的污染物详见下表。

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	
乙级非密封放 射性工作场所	电离辐射	γ射线、β表面污染、X 射线
	固体废物	退役校准放射源、报废的发生器、废旧活性炭过滤装置、废药瓶、注射器、棉签、棉球、手套等放射性废物。
	废气	放射性药品配制和给药过程中产生的微量放射性气溶胶、微量的臭氧和氮氧化物。
	废水	病人排泄物和放射性药品操作过程的放射性去污洗涤液。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目选址及布局

本项目核医学科位于山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼东区。教学楼东侧为山西医科大学公共卫生学院，距离约 10m，东南侧为山西医科大学转化中心楼，距离约 28m，南侧为山西医科大学 3# 教学楼，距离约 45m，西南侧为医科大学 2# 教学楼，距离约 30m，西侧为新建南路，北侧为康乐街及医科大学家属楼，距离约 35m。教学楼边界外 50m 区域内分布人员主要是医科大学校园内学生及楼内各科室的工作人员、前来就诊的病患、陪护人员、医科大学公共卫生学院及转化中心楼、教学楼内师生、医科大学家属楼居民。

本次环评的核医学科工作场所楼上为模拟教学公益平台及培训教室、办公室、实验室等、楼下土层。场所包括接诊大厅、候诊室、注射前卫生间、注射准备室、注射室、储源间、废物间、放射性药物分装室、放射性药物合成室、冲淋室、卫生通过间、SPECT/CT 机房、PET/MR 机房、PET/CT 机房、控制室、注射后候诊室、注射后抢救室、注射后卫生间、留观室等相关用房。

核医学科平面布置图见图 10.1。

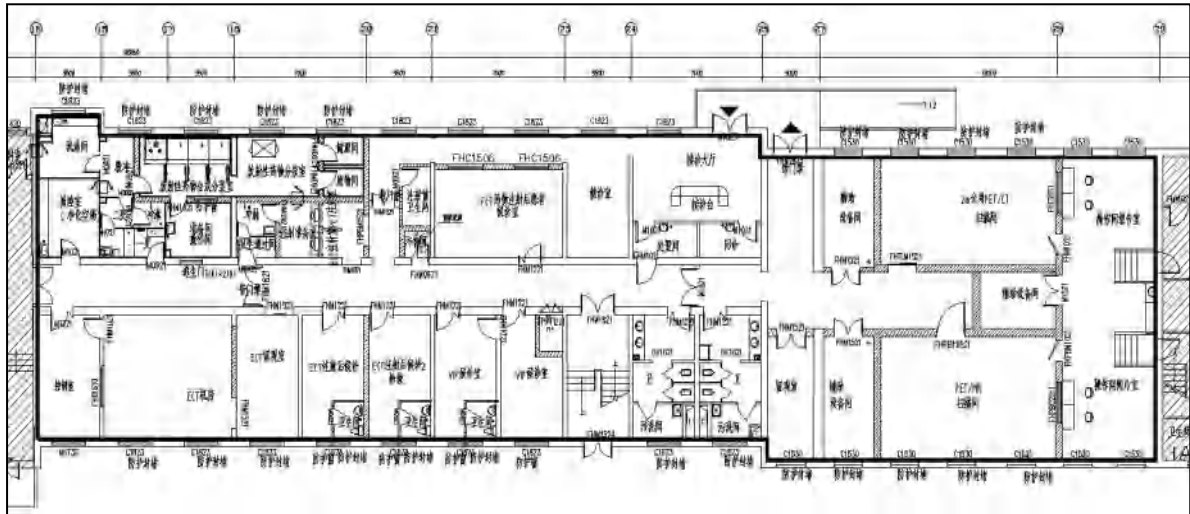


图 10.1 山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼东区核医学科平面布置图（详见附图 3）

拟建核医学科走廊出入口防护门拟设置有门禁系统，满足 GBZ120-2020 “5.1.2 c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射”的要求。

拟建核医学科的药物分装室出口设有缓冲间、更衣、冲淋间，并配备有检测仪器，满足 GBZ120-2020 “5.1.2 d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。”

本项目核医学科和其他工作区域相邻，但不相通，与四周及上下方的非放射性工作场所完全隔开。

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。

综上所述，本项目核医学科选址及布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）核医学科工作场所平面选址及布局的要求。

10.1.2 辐射屏蔽及相邻场所情况

核医学科相关场所屏蔽情况见下表。

表 10.1 乙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	PET/CT	东墙	控制室	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
		南墙	辅助设备间 患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	辅助设备间	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		北墙	室外（康乐街）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	教学公益平台及 培训教室	60mm 混凝土+10mm 铅板
		防护门（南墙）	患者走廊	8mmpb 电动防护推拉门
		防护门（东墙）	控制室	15mmpb 手动防护平开门
		观察窗（东墙）	控制室	15mmpb 铅玻璃
2	PET/MR	东墙	控制室	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
		南墙	室外（校园）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	辅助设备间	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		北墙	辅助设备间 患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	教学公益平台及 培训教室	60mm 混凝土+10mm 铅板
		防护门	患者走廊	8mmpb 手动防护屏蔽平开门
		防护门	控制室	15mmpb 手动防护屏蔽平开门
观察窗（东墙）	控制室	15mmpb 铅玻璃屏蔽观察窗		

续表 10.1 乙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
3	PET 留观室	东墙	辅助设备间	500 实心砖
		南墙	室外 (校园)	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	卫生间	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	走廊	60mm 混凝土+10mm 铅板
		防护门	患者走廊	6mmpb 双扇手动防护平开门
4	SPECT/CT	东墙	注射后候诊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外 (校园)	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	控制室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	协同中心 PI 办公室及资料室 中心主任办	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 电动防护推拉门
		防护门	控制室	6mmpb 手动防护平开门
		观察窗	控制室	6mmpb 铅玻璃观察窗
5	PET 药物 注射后候 诊室	东墙	候诊室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡 +5mm 铅板
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	注射前卫生间 污物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡 +5mm 铅板
		北墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡 +5mm 铅板
		地板	土层	/
		顶板	临床诊断报告及 影像数据中心	150mm 混凝土+15mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	12mmpb 子母手动防护平开门

续表 10.1 乙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	ECT 注射后候诊室 2 (抢救)	东墙	VIP 候诊室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外 (校园)	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	SPECT/CT 注射后候诊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	协同中心理事单位办公室、资料室	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	4mmpb 子母手动防护平开门
7	VIP 候诊室	东墙	楼梯间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外 (校园)	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	ECT 注射后候诊室 2 (抢救)	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	分子影像智能、云平台研究室	150mm 混凝土+15mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 子母手动防护平开门
		防护门	东侧 VIP 候诊室	6mmpb 单扇手动防护平开门
8	ECT 注射后候诊室 1	东墙	ECT 注射后候诊室 2 (抢救)	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外 (校园)	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	SPECT/CT 机房	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	协同中心理事单位办公室、资料室	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	4mmpb 子母手动防护平开门

续表 10.1 乙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
9	污物间	东墙	注射后候诊 1	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	注射前卫生间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	新型防辐射设备 研发中心	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 单扇手动防护平开门
10	污洗间	东墙	留观室	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外（校园）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	楼梯	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	卫生间	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 子母手动防护平开门
11	问诊 大厅	东墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
12	注射室	东	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西	注射准备室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北	废物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管 基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	走廊	12mmpb 电动防护推拉门
		防护门	患者走廊	6mmpb 电动防护推拉门

续表 10.1 乙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
13	注射准备室	东墙	注射室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	卫生通过间 冲淋	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	放射性药物合成、 分装室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管 基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	冲淋	12mmpb 单扇手动防护平开门
		药物传递防护窗	放射药物分装室	10mmpb 防护净化传递窗
		一体化注射装置	注射室	20mmpb
		一体化注射装置	注射室	50mmpb
14	放射性药物分装、合成室	东墙	储源间 废物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	注射准备 冲淋、操作间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		西墙	缓冲间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	室外（康乐街）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	肿瘤蛋白组学研 究室（PI）	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	缓冲	10mmpb 单扇手动防护平开门
		防护窗	操作室	10mmpb 铅玻璃
15	储源间	东墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	废物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		西墙	放射性药物 合成室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	室外（康乐街）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管 基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	放射药物合成室	10mmpb 单扇手动防护平开门

续表 10.1 乙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
16	废物间	东墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	注射室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		西墙	放射性药物合成室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	储源间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	放射性药物合成室	10mmpb 单扇手动防护平开门

10.1.2.3 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，医生入口、医生出口、病人入口、病人出口。乙级非密封放射性工作场所人流物流布置图见下图。

核医学科人流物流见下图 10.2。



图 10.2 核医学科人流物流路径图（详见附件 5）

(1) 医护人员路径

①西侧医生通道：由核医学科西侧楼梯间进入核医学科医生通道（通道门须带门禁），可分别进入 SPET-CT 控制室，质控室，一更→冲淋→二更→缓冲→放射性药物合成、分装室→储源间，卫生通过间→冲淋→注射准备室，操作完成后出核医学科。

②东侧医生通道：由核医学科东侧门可经更衣室后直接进入 PET/CT、PET/MR 机房，操作完成后离开核医学科。

(2) 患者通道

①SPET/CT 受检者/患者路线：在核医学科北侧入口进入接诊大厅（入口门须单向带门禁）→注射前候诊室→注射前卫生间→注射室→ECT 注射后候诊室→ECT 机房→ECT 留观室→患者出口（出口门须单向带门禁）。

②PET 受检者/患者路线：在核医学科北侧入口进入接诊大厅（入口门须单向带门禁）→注射前候诊室→注射前卫生间→注射室→PET 药物注射后候诊室、VIP 候诊室→PET/CT 机房、PET/MR 机房→PET 留观室→患者出口（出口门须单向带门禁）。

SPET/CT 受检者与 PET 受检者从注射时至进入注射后候诊区前，通过时间错位管理，2 种核素受检者不同时注射，确保 2 种核素受检者不交叉。注射后候诊区，设置有 ECT 专用注射后候诊室及 PET 药物注射后候诊室、VIP 注射后候诊室，可以确保注射后患者不交叉。

(3) 药物通道：药物由核医学科西侧楼梯间进入核医学科医生通道→质控室→缓冲间→放射性药物合成、分装室→储源间，使用时由储源间→放射性药物分装室→注射准备室。

(4) 放射性废物通道：放射性废物在废物间、污物间的废物桶内集中储存，需要运出的废物经药物通道运出。

拟建核医学科走廊出入口防护门拟设置有门禁系统，满足 GBZ120-2020 “5.1.2 c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射”的要求。

拟建核医学科的人流、物流、药流均设置有单独路线，通过时间错位管理，互不交叉，满足 GBZ120-2020 “5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展”。

综上所述，本项目核医学科流线路径符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）核医学科工作场所平面布局的要求。

10.1.2.4 人流和物流的路径规划辅助系统

(1) 数字红外半球监控器

注射前候诊区域共设置 5 枚数字红外半球监控器，分别位于接诊大厅、注射前候诊室和走廊，其监控显示屏拟设置于接诊台。

注射室候诊区及检查机房共设置 10 枚数字红外半球监控器，分别位于 PET/ECT 注射室、注射后

患者候诊室、VIP 候诊室、患者走廊、留观室，其监控显示屏拟设置于 PET/CT 操作间。

ECT 区域共设置 2 枚数字红外半球监控器，分别位于 ECT 注射后候诊室，其监控显示屏拟设置于 ECT 操作间；药物分装区域共设置 3 枚数字红外半球监控器，分别位于洗涤间、缓冲间、放射性药物分装室，其监控显示屏拟设置于准备间操作间。

(2) 呼叫对讲系统

医护人员核医学区域共设置 1 套呼叫对讲系统：问诊区、PET/CT 操作间、PET/MR 操作间、注射准备室、准备间操作间、ECT 控制室处分别设置一个对讲分机，其呼叫主机拟设置在接诊台。

患者核医学区域共设置 4 套呼叫对讲系统：注射前候诊区在候诊室设置 1 个对讲分机，其呼叫主机拟设置在接诊台；ECT 区域在 ECT 注射后候诊、注射后候诊 2 设置 3 个对讲分机，其呼叫主机拟设置在 ECT 机房控制室；PET 区域在 ECT/PET 注射室、注射后患者候诊室、VIP 候诊室、留观室设置 7 个对讲分机，其呼叫主机拟设置在 PET/CT 机房控制区；PET/MR 操作间设置 1 个呼叫主机。

(3) 门禁装置

本项目患者入口、患者出口、进出控制区的防护门均拟设置相关门禁，授权工作人员和患者才能进入。

(4) 固定辐射检测系统

核医学科区域内拟设置 1 套固定场所辐射检测系统，包含 1 个辐射检测主机和 7 个探测器。主机位于 PET/CT 操作间，探测器分别设置在患者出口、接诊台、患者走廊、注射准备室、放射性药物分装室等，以达到协助患者流动路线管理的目的。

10.1.2.5 通风设施

(1) 核医学科排风设置



图 10.3 核医学科排风示意图（详见附图 6）

(2) 核医学科场所排风设施设置情况

本项目非密封放射性工作场所共设计 4 套放射性过滤装置。

①放射性分装、合成等操作放射性药物的通风橱等设备设置专用过滤排风装置 1 套，排风速率 2500m³/h，排风区域包含放射性药物分装室、合成室、缓冲区、洗涤间，排风经过活性炭吸附过滤后排放至洗涤间竖井内专用排风管道，楼顶安装引风机，排至该楼的房顶上排放。该套排风装置，设计单位未给出风速，根据 GBZ120-2020 要求，合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s，因此，该套排风装置风速不得小于 0.5m/s。

②高活区设置专用过滤排风装置 1 套，排风速率 1500m³/h，排风区域包含储源间、废物间、注射室、注射准备室、冲淋间、卫生通过间、准备操作间，排风经过活性炭吸附过滤后排放至洗涤间竖井内专用排风管道，楼顶安装引风机，排至该楼的房顶上排放。

③候诊区设置专用过滤排风装置 1 套，排风速率 2710m³/h，排风区域包含 SPET/CT 机房、3 间注射后候诊室/2 间 VIP 候诊室、污物间、候诊区患者走廊、西侧污洗间，排风经过活性炭吸附过滤后排放至西侧污洗间竖井内专用排风管道，楼顶安装引风机，排至该楼的房顶上排放。

④机房区设置专用过滤排风装置 1 套，排风速率 3800m³/h，排风区域包含 PET/CT 机房、PET/MR 机房、留观室、机房区患者走廊、东侧污洗间，排风经过活性炭吸附过滤后排放至东侧污洗间竖井内专用排风管道，楼顶安装引风机，排至该楼的房顶上排放。

拟建核医学科单独设置了 4 套排风系统，排风管道单独设置，排风经过活性炭吸附过滤后排放至竖井内专用排风管道，楼顶安装引风机，排至该楼的房顶上排放，且放射性药物合成、分装室设置有单独的专用排放系统，风速设置大于 0.5m/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）6.3 密闭和通风及 GBZ120-20205.2.3：核医学工作场所的通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

10.1.2.6 排水设施

根据建设单位提供的资料，核医学科相应各个房间（洗涤间、2 间冲淋间、污物间、3 间卫生间、2 间污洗间）设置地漏及下水设施，经专用管道达到专用放射性污水处理系统进行衰变，放射性废水管道回填使用硫酸钡回填，放射性废水经过衰变池衰变后排入化粪池然后接入学校总排水管网。

本项目排水平面布置图详见附图 7。

放射性废水处理系统包括过滤池 1 个、前处理单元 1 个（净容积 3.5m³），衰变单元 5 个（单个净容积 3.5m³），排水单元 1 个（净容积 3.5m³）。

衰变池具体工作原理为：放射性区域废水经专用排水管道流入过滤池初步过滤处理后，排入前处理单位池，前处理单元池内的废水充满后以排入 1#衰变单元池，1#单元池接收 5 天的废水后则自动关闭进水口，同时开启 2#衰变单元池进水口，放射性废水从前处理单元池流入 2#衰变池。2#单元池接收 5 天的废水后则自动关闭进水口，同时开启 3#衰变单元池进水口，放射性废水从前处理单元池流入 3#衰变池。3#单元池接收 5 天的废水后则自动关闭进水口，同时开启 4#衰变单元池进水口，放射性废水从前处理单元池流入 4#衰变池。依次循环。1#衰变池的废水经衰变并经检测装置检测合格，排入化粪池，并最终进入学校总排水管网。

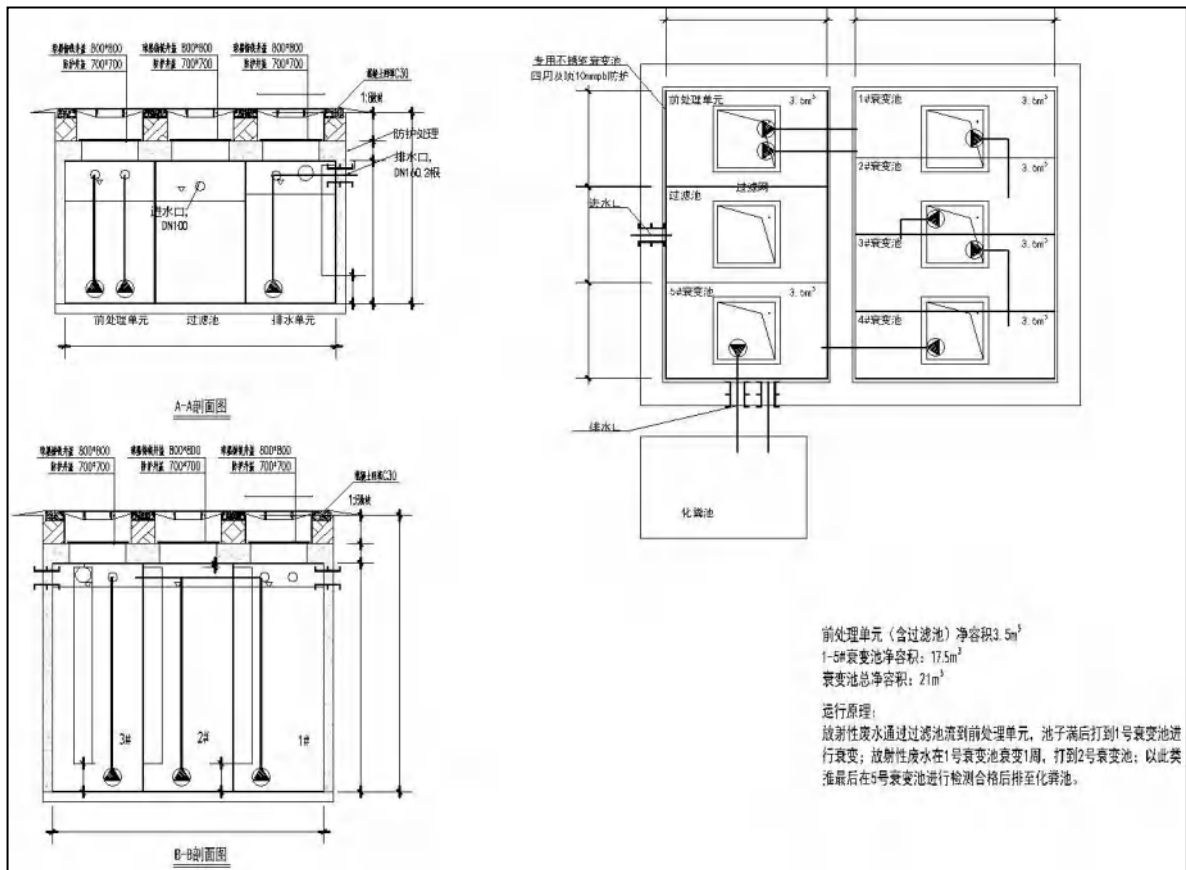


图 10.4 衰变池结构示意图

10.1.2.7 乙级非密封放射性工作场所的污染防治措施

10.1.2.7.1 场所设施

(1) 电离辐射警示标识：拟在核医学科入口（医生通道、患者通道）处、患者通道出口处、扫描室、通风橱、废物桶等位置设置电离辐射警示标志、标识和说明。

(2) SPECT-CT、PET-CT、PET-MR 机房安装对讲和视频设备，门上安装工作指示灯。

(3) 出入口应有相应的标识和说明。

(4) 场所内应有明显的标识和文字说明，说明注药后的诊断流程和在通道内的走向。

(5) 放射性工作台面应采用去污的工作台面和防污染覆盖材料。

(6) 在核医学科内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。

(7) 核医学科各地面、台面均拟采用 PVC 等易去污材料无缝铺设，在地面与墙面的转角处拟采取圆弧铺设原则进行铺设，且在墙面上的铺设高度不应低于 10cm。

(8) 药物

①源库需具备防盗、防水、防火功能，并应有电离辐射标志。

②对放射性物质源库设置摄像监控报警系统，保证放射性药物存放必须安全，应专人负责，存取记录要详细、清晰。

③对未用完已没有医用价值的其它放射性药品（统称为废原液），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。

④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。

⑤按需要量订购同位素，核医学科专门人员负责点对点接收同位素，清点数量，登记放射性药品台账。

(9) 储源库及药物

①储源库放射源贮存柜不得存放其他物品，实施双人双锁的严格管理。

②贮存的放射性物质应及时登记建档，放射性物质每次出入库应进行登记。并专人负责，存取记录要详细、清晰。

③场所应采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄露的措施，应安装 24 小时摄像监控及防盗报警装置。

④放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。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，应立即送回原地储存。

⑤放射性物质贮存室或存储柜应定期进行放射防护监测，并记录存档。

⑥对未用完已没有医用价值的其它放射性药品（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。

⑦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。

(10) 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，医院拟将核医学科辐

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，防护分区见下图。

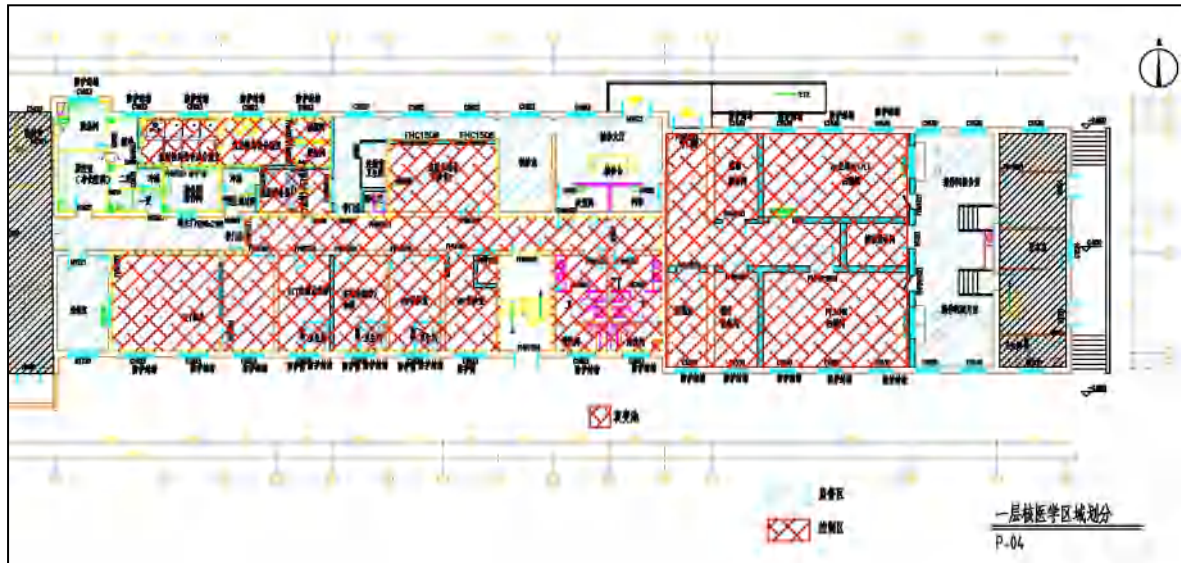


图 10.5 核医学科辐射工作场所辐射防护分区图（详见附件 4）

(11) 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在控制区的出口处提供皮肤和工作服的污染监测仪、被携出物品的污染监测设备、冲洗或淋浴设施以及被污染防护衣具的贮存柜。

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。

10.1.2.7.2 监测设备及辐射防护用品

本项目核医学科应配备防护设备具体见下表所示。

表 10.2 核医学科防护设备、监测设备一览表

序号	种类名称	设置场所	铅当量	数量
1	研发合成热室	放药合成室	70mmPb	1
2	F18 分装热室	放药合成室	60mmPb	1
3	PET 落地式注射防护装置	注射室	50mmPb	1
4	PET 注射器防护提盒	放药合成室	20mmpb	2
5	注射器防护套	放药合成室	10mmpb	4
6	PET 防护废物桶	放药合成室/注射室	20mmpb	2
7	PET 储源保险箱	放药合成室	20mmpb	1
8	PET 药物转运铅罐	放药合成室	40mmPb	2
9	钨铍双联净化防护通风柜	放药合成室	20mmpb	1
10	ECT 落地式注射防护装置	注射室	10mmpb	1
11	ECT 注射器防护提盒	注射室	5mmpb	2
12	注射器防护套	注射室	5mmpb	4
13	ECT 防护废物桶	注射室	5mmpb	4
14	ECT 储源保险箱	放药合成室	10mmPb	1
15	工作人员防护用品 (铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜)	放药合成室/注射室	0.5mmPb	8
16	患者防护用品 (铅围裙、铅方巾、铅围脖)	扫描室	0.5mmPb	4
17	铅胶衣架	扫描室	/	4
18	个人剂量检测仪	/	RAD-60	5
19	表面沾污仪	/	INSPECTOR Alert-V2	2
20	活度计	/	CRC-25R	2
21	环境剂量监控	放药合成室	QDFS-H02	1

10.1.2.7.3 应急物资

- (1) 配备去污用品和试剂，且控制区、监督区的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

(1) 放射性固体废物

放射性固体废物主要有：病人注射使用后的空药瓶、产生的注射器、棉棒、一次性手套等。

① 固体放射性废物收集

A、固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废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，并及时转送废物间，并放入专用容器中贮存。污物桶应避免工作人员操作和经常走动的地方。

B、含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

C、放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。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。 β 表面沾污应不大于 0.4Bq/cm^2 。

D、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。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。

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

F、收集的放射性固体废物存到专用废物桶内（铅桶），并规范张贴标签，存放至固废间内暂存。各类放射性固体废物暂存时间应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求后，经检测合格后作为医疗废物处理。

放射性固废应按照医疗废物（危险废物）的管理要求，实行联单管理制度，并详细记录“放射性固废暂存、处置管理台账”，内容包括放射性固废种类、核素名称、重量、暂存起始时间、暂存截止时间、表面污染监测结果、辐射剂量率监测结果、是否符合解控要求、废物处置时间、处置操作人员、部门负责人审核、废物去向等，每袋放射性固废填写一行记录，详细跟踪固废的处理方式和最终去向，切实做好产生、衰变时间、数量等相关的记录台账。

② 固体放射性废物贮存

A、放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

B、废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。

容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

C、废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

D、将放射性固体废物集贮存在固废间的污物桶内，废物经检测达标，其活度低于标准要求，可作为普通医疗废物处理。

E、另外，对未用完已没有医用价值的其它放射性药品（统称为废原液），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，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。

（2）放射性废水处理系统

①放射性废液收集

A、核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

B、核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

C、放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

D、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。病人卫生间下水及去污洗涤液排至衰变池。

②放射性废液贮存

A、经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

B、槽式废液衰变池由过滤池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。在排放口设置标志牌。

③放射性废液排放

对于槽式衰变池贮存方式：

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

B、所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放，总 β 不大于 10Bq/L。

C、每次排放应将废水排至流量大于 10 倍排放量的普通下水道，每月排放总活度或每次排放活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限值要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应做记录并存档。

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

E、定期委托有资质的单位进行监测。

(3) 医院放射性废气排放措施

①核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

②放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

③通风橱应有足够的通风能力。通风橱的管道应为独立的管道且在半开状态下风速不小于 0.5m/s。设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

④进、排风口设计：高进低排，排风口靠近污染源，进风口远离污染源。

⑤为了保证本建筑排风顺利且保证房间的负压要求，设置机械补风系统的送风量小于等于排风量的 60%，送风系统单独采集分别配送至各个有排风要求的房间。

⑥应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换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。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

核医学科使用的放射性同位素为非挥发性核素，分装、注射等均在负压条件下进行，操作简单，因此，放射性气体污染极低。本项目废气治理措施满足相关标准、规定要求，废气排放浓度极低，废气排放口设置在屋顶，不会对周围环境造成明显影响。

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、废气。
- (2) 废水：施工过程中，主要为施工人员的生活污水。
- (3) 固体废物：施工过程中产生的拆除的建筑垃圾、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施工扬尘。

施工产生的扬尘主要是在建筑垃圾与建材的装卸、搅拌、运输过程中，由于外力而产生的尘粒再悬浮而造成，其中施工及装卸车辆造成的扬尘最为严重。

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，建筑垃圾也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倾倒时必须到环卫部门指定的弃渣场，不得随意倾倒。

11.1.4 噪声

施工噪声主要来自于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 10:00 以后至次日早晨 6:00 禁止施工。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学各核素使用情况

表 11.1 核医学科放射性核素的使用情况一览表

序号	工作场所	核素	半衰期	患者最大使用量 (Bq)	日最大日操作量 (Bq)	用途	备注
1	SPECT-CT	^{99m} Tc	6.02h	8.0×10 ⁸	1.60×10 ¹⁰	SPECT-CT 显像	每天最多 20 人
2	PET-CT/MR	¹⁸ F	109.8min	3.70×10 ⁸	5.55×10 ⁹	PET-CT 显像	每天最多 15 人

续表 11.1 核医学科放射性核素的使用情况一览表

序号	工作场所	核素	半衰期	患者最大使用量 (Bq)	日最大日操作量 (Bq)	用途	备注
3	PET-CT/MR 机房	⁶⁴ Cu	12.7h	3.70×10 ⁸	1.11×10 ⁹	PET-CT 显像	每天最多 3 人
4	PET-CT/MR 机房	⁸² Rb	76s	1.85×10 ⁹	5.55×10 ⁹	PET-CT 显像	每天最多 3 人
5	PET-CT/MR 机房	⁶⁸ Ga	68.3min	3.7×10 ⁸	2.22×10 ⁹	PET-CT 显像	每天最多 6 人

11.2.2 放射性废水环境影响分析

(1) 医院每天排水量估算

医院核医学科医护人员预计共 12 人，核医学科工作人员用水 35L/人/天，每年工作 250 天。核医学科门诊病人每日使用核素不同，病人人数不同，故按照所有核素病人年最大诊疗人数除以年工作天数，算的平均每天病人人数大约 37 人，门诊病人用水为 6L/人/天，根据医院提供，每位患者注射后最多如厕 1 次，产生的冲洗废水约 6L，核医学科用水、排水量见下表。

表 11.2 核医学科用水、排水量汇总表

用水类别	用水定额	用水规模	日用水量 (m ³ /d)	排水量 (m ³ /d)	去向
医护人员	35L/人/d	12 人	0.42	0.336	进入衰变池处理后排入化现有化粪池后进入学校污水管网。
门诊病人	6L/人/d	37 人	0.222	0.222	
地面清洗	2L/50m ² /d	800m ²	0.032	0.026	
未预见水量按以上水量的 10%计			0.067	0.058	
总计			0.741	0.642	

注：门诊病人排水量按照用水量 100%计算，其他排水量按用水量的 80%计算。

(2) 衰变池容积可行性分析

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009) 5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10⁷Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

根据上述污染物分析，本项目核医学科产生放射性废液约 0.642m³/d，⁹⁹Tc^m的半衰期约为 6.02h，¹⁸F 的半衰期约为 109.8min，⁶⁴Cu 的半衰期约为 12.7h，⁸²Rb 的半衰期约为 76s，⁶⁸Ga 的半衰期约为 68min，半衰期最长的为 ⁶⁴Cu 核素 12.7h。放射性废液按普通废水排放前应在衰变池中至少衰变 10 个半衰期。本项目放射性废水处理系统包括过滤池、前处理单元 1 个（净容

积 3.5m³），衰变单元 5 个（单个净容积 3.5m³），排水单元 1 个（净容积 3.5m³），根据医院提供信息，每周只在工作日的 5 天内产生废水，每个衰变池只接收 5 天的水则自动关闭，则每个自然周 7 天内产生的废水量为 3.21m³，单个衰变池容积可以满足一周内排水需求。1#衰变池关闭后，2#-5#衰变池全部关闭需要 4 周，即 28 天，过滤池及前处理单元净容积为 3.5m³，排满亦需要 5 天，即 1 个自然周，则此时 1#池已衰变 35 天，至少已经衰变 66 个半衰期，可以满足至少衰变 10 个半衰期的排放要求，由此循环反复，因此，本项目衰变池容积及设计可以满足要求。

(3) 放射性废水排放可行性分析

废水中所含核素种类较多，根据医院实际情况做保守假设，保守估计每种核素每天有 30%进入水体。根据上表核医学科每日排水量，每种核素的日最大使用量、衰变周期、暂存天数等信息计算得衰变池出水时对应核素的一次排放活度见下表。

表 11.3 核医学科每种核素一次排放核素含量表

核素名称	日最大操作量 (Bq)	核素进入废水比例 (%)	关闭单个衰变池各核素使用单元天数 (d)	单个衰变池单元废水中放射性同位素的含量 (Bq)	半衰期 (d)	衰变次数	衰变后一次排放废水活度 (Bq)	排放浓度 (Bq/L)
⁹⁹ Tc ^m	1.60×10 ¹⁰	30%	5	2.4E+10	0.251	140	2.38E-32	6.8E-33
¹⁸ F	5.55×10 ⁹	30%	5	8.3E+09	0.076	459	5.53E-129	1.6E-129
⁶⁴ Cu	1.11×10 ⁹	30%	2	6.7E+08	0.529	66	8.18E-12	0.0E+00
⁸² Rb	5.55×10 ⁹	30%	2	3.3E+09	0.001	39789	0	2.3E-12
⁶⁸ Ga	1.11×10 ⁹	30%	2	6.7E+08	0.047	741	5.09E-215	0.0E+00
合计							8.12E-12	2.34E-12

注：保守计算，不考虑从开始排水到排满单个衰变池期间的核素活度衰减。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 7.3.3.1 的规定，放射性废水总排放口总β不大于 10Bq/L。由上表估算结果可知：本项目衰变池经贮存时间后的排放浓度小于 10Bq/L，能满足标准规定要求。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，不得将放射性废液排入普通下水道，满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道：（a）每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}（ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）；（b）每一次排放的活度不超过 1ALI_{min}，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

表 11.4 放射性废水排放活度表

	^{99m} Tc	¹⁸ F	⁶⁴ Cu	⁸² Rb	⁶⁸ Ga
一次排放活度 (Bq)	1.4×10 ⁻²⁹	7.1×10 ⁻¹²⁰	1.7×10 ⁻¹⁰	0	2.6×10 ⁻²⁰⁰
ALI _{min} (Bq)	8.62×10 ⁸	2.15×10 ⁸	1.33×10 ⁸	9.09×10 ⁷	2.00×10 ⁸
一次达标情况	达标	达标	达标	达标	达标
月排放活 (Bq)	5.6×10 ⁻²⁹	2.8×10 ⁻¹¹⁹	6.7×10 ⁻¹⁰	0	1.0×10 ⁻¹⁹⁹
10ALI _{min} (Bq)	8.62×10 ⁹	2.15×10 ⁹	1.33×10 ⁹	9.09×10 ⁸	2.00×10 ⁹
每月达标情况	达标	达标	达标	达标	达标

由上表估算可知，各核素一次排放和月排放均达标，且以上计算均未考虑废水收集期间的核素衰变，因此在实际运行时出水的一次排放活度会更小。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水量，废水的排放满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》导出的核素排放限值要求，并且符合《医疗机构水污染物排放标准》的排放要求。

11.2.3 放射性固体废物环境影响分析

(1) 放射性固体废物的产生

放射性固体废物包括：由污染源分析可知，放射性固体废弃物主要包括分装瓶、一次性注射器、手套、病人服药的一次性纸杯、废棉签、清洁用抹布等。

表 11.5 本项目核医学科放射性固体废物的年产生量估算表

核素名称	产生来源	产生量 (g/d/人)	日最大病人人数 (人)	日产生量 (kg/d)	年最大诊疗人数 (人)	年产生量 (kg/a)
^{99m} Tc	口罩、手套、药瓶以及口杯、擦拭纸巾、使用过的空药瓶以及生活垃圾等	50	20	1	5000	250
¹⁸ F		50	15	0.75	3750	187.5
⁶⁴ Cu		50	3	0.15	100	5.0
⁸² Rb		50	3	0.15	100	5.0
⁶⁸ Ga		50	6	0.30	200	10.0
合计		457.5kg/a				

(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，不可混同处理，放射性废物应按核素类别的不同分类存放。
- ②在注射区、用药后候诊区，就地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，且按照核素种类进行标记，每次收集时贴上标签，每次收集时贴上标签，标明最后一天的收集时间。

(3) 放射性固体废物的排放

当放射性固体废物集中暂存 10 个半衰期的要求后，废物经检测达标，其活度低于 GB18871 清洁解控水平后，并经审管部门确认后，作为普通医疗废物处理。

11.2.4 放射性废气环境影响分析

(1) 放射性废气的产生

核医学科各核素药物均为简单湿法操作，且不是易挥发物质，产生极微量的放射性物质，正常情况下一般不会造成工作环境的空气污染。

(2) 放射性气体的排放

①拟建核医学科单独设置了 4 套排风系统，排风管道单独设置，排风经过活性炭吸附过滤后排放至竖井内专用排风管道，楼顶安装引风机，排至该楼的房顶上排放，且放射性药物合成、分装室设置有单独的专用排放系统，风速设置大于 0.5m/h。

②气流流向为从非放射性区域流向监督区，再流向控制区。

③为了保证本建筑排风顺利且保证房间的负压要求，送风系统单独采集分别配送至各个有排风要求的房间。进、排风口设计：高进低排，排风口靠近污染源，进风口远离污染源。

④设置的负压通风药品柜，通风橱的排风管道为独立的管道。

⑤设置污染排风的场所，换气次数要求为 6 次/h。

⑥为了保证本建筑排风顺利且保证房间的负压要求，设置机械补风系统的送风量小于等于排风量的 60%，送风系统单独采集分别配送至各个有排风要求的房间。

⑦定期检查维护通风设施工作的有效性和稳定性、通风柜的通风效能，定期更换滤芯，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。

医院应在取得环评批复以后，专业设计单位设计放射性气体通风排放系统施工图，并购置安装符合排风要求的高效过滤装置，保持室内有较好的通风。

11.2.5 γ 辐射环境影响分析

11.2.5.1 辐射剂量率及屏蔽分析

辐射防护屏蔽计算公式

$$H_p = \frac{A \times \Gamma}{R^2} \times 10^{\frac{X}{T}} \times 10^{-10}$$

式中：R——考查点到 γ 源的距离（m）；

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

A——源的活度 (MBq) ;

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

x——屏蔽厚度 (mm) ;

TVL——屏蔽材料的十值层厚度 (mm) 。

根据本项目各核素操作量, ^{64}Cu 、 ^{82}Rb 、 ^{68}Ga 使用量及使用次数较少, 均为正电子核素, 能量均为 0.511MeV, 与 ^{18}F 类似, 本项目核医学科评价重点以 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素作代表进行分析。

表 11.6 TVL 相关参数选取表

序号	核素	照射量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{Bq}\cdot\text{h}$)	铅 (mm)	砖 (mm)	混凝土 (mm)
1	^{18}F	1.43×10^{-7}	16.6	263	176
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.03×10^{-8}	1	160	110

核医学科控制区范围内, 除辐射工作人员因诊断治疗需要偶尔进入, 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。

核医学科正常运行时, 药物的暂存等过程均在相应储源箱、铅罐、通风橱等专用屏蔽设备内进行, 运行过程中产生的放射性固体废物活度较小, 均收集于专用铅桶内。相应屏蔽设备均具备足够的铅当量, 且放置在固定的核医学科场所内屏蔽, 对辐射工作场所外环境基本不产生影响, 故本项目不再对储源间、废物间、通风橱、污物间、铅桶等进行屏蔽计算, 仅进行简单分析。

本项目计算均将用药后的患者视作理想点源, 点源距离地面的高度为 1m, 位于房间中央位置考虑; 墙体厚度按 0.3m 考虑; 计算控制区边界功能用房对周边关注点的辐射影响时, 一般选取四周屏蔽墙外 0.3m 处, 楼上距离按上层顶棚地面上方 1m 处考虑计算。

11.2.5.2 工作场所辐射水平分析及预测

(1) 源库及污物间

项目使用的核素为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 医院根据与病人预约情况向药物供应商订货, 由药物供应商将药物放置于铅罐, 直接运输至源库待用。放射药物置于铅罐内再放入源库内。源库北侧墙体为 370mm 实心砖墙+3mmpb 硫酸钡, 其余三侧为 240mm 实心砖墙+6mmpb 硫酸钡, 顶棚 150mm 混凝土+10mmpb 铅板, 防护门内衬 10mm 铅板, 放射性药物在源库暂存期间对周围辐射环境影响很小。

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1% 计, 放射性固废暂存于废物间铅衰变暂存容器, 废物间四侧墙体为 240mm 实心砖墙+6mmpb 硫酸钡, 顶棚为 150mm 混凝土+10mmpb

铅板，防护门内衬 6mm 铅板，放射性固废在废物间暂存衰变期间对周围辐射环境影响很小。

(2) 所用核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等均由药物供应商直接送至源库，注射人员按单人注射量在手套箱内分装后放入 10mmPb 的注射器防护套内，并穿戴有 0.5mmPb 防护衣，在铅玻璃注射窗后进行注射。

(3) 候诊室、留观室

核医学科拟设置 2 间 ECT 注射后候诊室，1 间 ECT 留观室，1 间 PET 药物注射后候诊室，1 间 VIP 注射后候诊室，1 间 PET 留观室。ECT 注射后候诊室按 3 个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 病人同时等待或观察进行计算分析。 ^{18}F 因半衰期较短，考虑注射后需候诊及扫描时间，注射 ^{18}F 患者不会相对集中，因此普通注射后候诊室按 3 个 ^{18}F 病人同时等待或观察进行计算分析，VIP 注射后候诊室按 1 个 ^{18}F 病人进行计算分析。根据医院提供信息，并非每个病人扫描后均需留观，病人扫描后根据实际情况，如有需要时才在留观室进行观察。因此 ECT 及 PET 留观室内均按照 2 人同时留观考虑进行计算分析。

本项目 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的单人次最大注射量分别为 370MBq (10mCi)、800MBq (21.6mCi)，注射后的患者在进入 PET-CT/SPECT-CT 室和留观室时体内放射源已分别衰变约 30min 和 50min，则对这两处进行屏蔽核算时，需先对源强进行衰变修正。根据核素衰变时间计算，经过 30min 时 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的衰减系数分别为 0.83、0.94，经过 50min 时 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的衰减系数分别为 0.73、0.91。

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)。

(4) 核医学科各工作用房屏蔽设计核算结果见下表。

表 11.7 核医学科场所各功能区四周辐射剂量率计算结果（使用 $^{99}\text{Tc}^m$ ）

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
分装室	北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	$^{99}\text{Tc}^m$ (21.6mCi)	2	2.95E-05	2.5	是
	南墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2	1.92E-07	2.5	是
	西/东墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2.6	1.13E-07	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护		3.6	8.10E-12	2.5	是
	防护门	10mmpb 单扇手动防护平开门		2.6	3.59E-10	2.5	是
注射准备室	西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡	$^{99}\text{Tc}^m$ (21.6mCi)	2.4	1.33E-07	2.5	是
	北墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		1.1	6.34E-07	2.5	是
	南墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		2.7	1.62E-05	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护		4	6.56E-12	2.5	是
	防护门	12mmpb 单扇手动防护平开门		2.7	3.33E-12	2.5	是
注射室	东墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡	$^{99}\text{Tc}^m$ (21.6mCi)	2.8	6.26E-08	2.5	是
	北墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		1.1	4.05E-07	2.5	是
	南墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		2.7	1.04E-05	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护		3.6	5.18E-12	2.5	是
	防护门	12mmpb 电动防护推拉门		2.8	1.98E-12	2.5	是
ECT 注射后候诊区	南/北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	$^{99}\text{Tc}^m$ (21.6mCi* 2人)	3.5	1.85E-05	2.5	是
	东/西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2.1	3.34E-07	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护		3.6	1.55E-06	2.5	是
	防护门	4mmpb 子母手动防护平开门		3.5	3.80E-04	2.5	是
污洗间	东墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	$^{99}\text{Tc}^m$ (21.6mCi)	3.1	7.86E-06	2.5	是
	西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		3.1	5.10E-08	2.5	是
	南/北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		3.5	6.17E-06	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护		3.6	5.18E-12	2.5	是
	防护门	6mmpb 子母手动防护平开门		3.5	1.27E-06	2.5	是

续表 11.7

核医学科场所各功能区四周辐射剂量率计算结果 (使用 $^{99}\text{Tc}^m$)

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
EC T 留观室	南/北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	$^{99}\text{Tc}^m$ (21.6mCi* 0.91*2 人)	3.5	1.12E-05	2.5	是
	东/西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2.1	2.02E-07	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护		3.6	9.43E-07	2.5	是
	防护门	4mmpb 子母手动防护平开门		1	3.10E-03	2.5	是
SP EC T/C T 机房	南/北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	$^{99}\text{Tc}^m$ (21.6mCi* 0.94)	3.5	5.80E-06	2.5	是
	东/西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		3.9	3.03E-08	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护		3.6	3.56E-07	2.5	是
	防护门/窗	6mmpb 手动防护平开门		3.5	1.19E-06	2.5	是

表 11.8

核医学科场所各功能区四周辐射剂量率计算结果 (使用 ^{18}F)

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
分装室	北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	^{18}F (10mCi)	2	3.42E-01	2.5	是
	南墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2	7.04E-01	2.5	是
	西/东墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2.6	4.16E-01	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护		3.6	1.43E-01	2.5	是
	防护门	10mmpb 单扇手动防护平开门		2.6	1.96E+00	2.5	是
注射准备室	西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡	^{18}F (10mCi)	2.4	4.89E-01	2.5	是
	北墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2.7	3.86E-01	25	是
	南墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		1.1	1.13E+00	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护		4	1.16E-01	2.5	是
	防护门	12mmpb 单扇手动防护平开门		2.7	1.37E+00	2.5	是
注射室	东墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡	^{18}F (10mCi)	2.8	2.30E-01	2.5	是
	北墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2.7	2.47E-01	2.5	是
	南墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		1.1	7.23E-01	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护		3.6	9.17E-02	2.5	是
	防护门	12mmpb 电动防护推拉门		2.8	8.18E-01	2.5	是

续表 11.8

核医学科场所各功能区四周辐射剂量率计算结果（使用 ^{18}F ）

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
PET 药物注射 后候诊室	东/西墙 体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡+5mm 铅板	^{18}F (10mCi*3 人)	3.9	1.78E-01	2.5	是
	北墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡+5mm 铅板		2.7	3.71E-01	2.5	是
	南墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		2.7	3.60E-01	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+15mmpb 铅 板防护		3.6	1.38E-01	2.5	是
	防护门	12mmpb 子母手动防护平 开门		3.0	2.14E+00	2.5	是
VIP 候诊室	南/北墙 体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	^{18}F (10mCi)	3.5	7.15E-02	2.5	是
	东/西墙 体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		2.1	4.09E-01	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+15mmpb 铅 板防护		3.6	4.58E-02	2.5	是
	防护门	6mmpb 子母手动防护平开 门		3.5	1.20E+00	2.5	是
污 洗 间	东墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	^{18}F (10mCi)	3.1	9.11E-02	2.5	是
	西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡		3.1	1.87E-01	2.5	是
	南/北墙 体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		3.5	7.15E-02	2.5	是
	屋顶	150mm 混凝土+10mmpb 铅 板防护		3.6	9.17E-02	2.5	是
	防护门	6mmpb 子母手动防护平开 门		3.5	1.20E+00	2.5	是
PE T 留 观 室	南/北墙 体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	^{18}F (10mCi*0. 73*2 人)	3.6	9.86E-02	2.5	是
	西墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		1.7	4.42E-01	2.5	是
	东墙体	500 实心砖		1.7	1.42E-01	2.5	是
	屋顶	60mm 混凝土+10mmpb 铅 板防护		3.6	4.35E-01	2.5	是
	防护门	6mmpb 子母手动防护平开 门		3.6	1.66E+00	2.5	是
PE T/C T、 PE T/ MR 机 房	南/北墙 体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	^{18}F (10mCi*0. 83)	3.3	6.67E-02	2.5	是
	西墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡		5.0	2.91E-02	2.5	是
	东墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板		5.0	1.45E-02	2.5	是
	屋顶	60mm 混凝土+10mmpb 铅 板防护		4.2	1.82E-01	2.5	是
	防护门/ 窗	15mmpb 手动防护屏蔽平开 门		3.3	3.22E-01	2.5	是

经核算，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 GBZ120-2020 中“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/h”及 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 μ Sv/h”的限值要求。

(5) SPECT/CT、PET/CT 机房 X 射线影响分析

① 《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020 标准符合性分析

本项目放射性药物使用场所 PET/CT、SPECT/CT 机房在 CT 操作时会产生一定的 X 射线，拟采取的辐射防护措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求对比见下表所示。

表 11.9 PET/CT 机房的屏蔽防护铅当量及面积要求一览表

项目		铅当量 (mm)	有效使用面积 (m ²)	单边长度 (m)
PET/CT	标准要求	2.5	30	4.5
	实际情况	东墙：370 实心砖+3mmpb 硫酸钡+5mmpb 铅板 (>2.5mm 铅当量)； 西南北墙体：370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 (>2.5mm 铅当量)； 防护门：8mmpb/15mmpb 铅门； (>2.5mm 铅当量) 观察窗：15mm 铅当量铅玻璃； (>2.5mm 铅当量) 顶棚：60mm 混凝土+10mm 铅板 (>2.5mm 铅当量)； 地面：土层。	48.5	5.3
	符合性	符合	符合	符合

表 11.10 SPECT/CT 机房的屏蔽防护铅当量及面积要求一览表

项目		铅当量 (mm)	有效使用面积 (m ²)	单边长度 (m)
SPECT/CT	标准要求	2.5	30	4.5
	实际情况	东西墙：240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡 (>2.5mm 铅当量)； 南北墙体：370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 (>2.5mm 铅当量)； 防护门：6mmpb 铅门； (>2.5mm 铅当量) 观察窗：6mm 铅当量铅玻璃； (>2.5mm 铅当量) 顶棚：150mm 混凝土+5mm 铅板 (>2.5mm 铅当量)； 地面：土层。	40.9	6.06
	符合性	符合	符合	符合

通过上表可知，PET-CT 机房及 SPECT-CT 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、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 机房及 SPECT-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》（GBZ 130-2020）中“CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h”的要求。

②PET/CT 机房、SPECT/CT 射线叠加影响

PET-CT 及 SPECT-CT 进行 CT 扫描时，场所周围存在 CT 散射与患者释放的 γ 射线的叠加辐射贡献。本项目设备最终参数尚未确定，参考西门子厂家某 CT 在 140kVp 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 0.052 μ Gy/mAs（垂直）和 0.051 μ Gy/mAs（水平），CT 扫描通常不超过 300mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h。其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

表 11.11 PET/CT、SPECT/CT 机房叠加 CT 影响墙外剂量率估算

房间	部位	屏蔽	距离 (m)	X 射线剂量率贡献值 (μ Sv/h)	γ 射线剂量率贡献值 (μ Sv/h)	合计 (μ Sv/h)
PET/CT、PET/MR 机房	南/北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	3.3	<0.0001	6.67E-02	6.67E-02
	西墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	5.0	<0.0001	2.91E-02	2.91E-02
	东墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡+5mmpb 铅板	5.0	<0.0001	1.45E-02	1.45E-02
	屋顶	60mm 混凝土+10mmpb 铅板防护	4.2	<0.0001	1.82E-01	1.82E-01
	防护门/窗	15mmpb 手动防护屏蔽平开门	3.3	<0.0001	3.22E-01	3.22E-01
SPECT/CT 机房	南/北墙体	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡	3.5	<0.0001	5.80E-06	<0.0001
	东/西墙体	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡	3.9	<0.0001	3.03E-08	<0.0001
	屋顶	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护	3.6	<0.0001	3.56E-07	<0.0001
	防护门/窗	6mmpb 手动防护平开门	3.5	<0.0001	1.19E-06	<0.0001

根据上表可知，本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房屏蔽防护在 CT 散射与患者释放的 γ 射线的叠加辐射影响，均满足小于 2.5 μ Sv/h 标准限值要求。

11.2.5.3 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/cm³； $E_{\beta \max}$ —电子最大能量，MeV。

本项目使用核素中，最大能量为 ^{3.35}MeV。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。

11.2.5.4 有效剂量分析

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

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 $1 (\text{Sv/h}) / (\text{Gy/h})$ ；

W_T —组织权重因数，偏安全考虑取1；

W_R —辐射权重因数，取1。

(1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 部分

①注射、辅助过程时间分析

针对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，药物由供应商配送，不存在淋洗等操作，每次分装时间约30s，病人注射时间约为1min，机房内辅助病人摆位等用时约为2min，扫描时间约20min/人。一年最多5000个病人。则注射人员（2人轮流操作）一年工作时间为62.5h/人，机房内辅助病人摆位工作人员（2人轮流操作）一年时间为84h/人，控制室设备操作人员1667h。

②剂量率D参数

注射人员身体：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）6.1.6，放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，本项目按照 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 保守估算。

机房内辅助病人摆位工作人员：按患者单次最大注射 21.6mCi 进行预测，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 $4.91\mu\text{Gy/h}$ 。

③年有效剂量

注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的职业人员所受年最大有效剂量为 0.16mSv/a ，低于本次评价 5mSv/a 的有效剂量约束值。

机房内辅助病人摆位的职业人员所受年最大有效剂量为 0.41mSv/a ，低于本次评价 5mSv/a 的有效剂量约束值。

以上估算是在工作人员在最简单防护措施、且不考虑药物活度衰减情况下的计算结果，工作人员在实际工作中，药物经过衰减，工作人员采取穿戴铅防护眼镜、铅手套，正确佩戴个人剂量计等措施后，辐射工作人员受到的年有效剂量将远小于环评估算的剂量。

(2) PET 部分

①注射、辅助过程时间分析

针对 PET 区域，药物由供应商配送，每次分装时间约 30s，注射时间 1min/人次，机房内辅助病人摆位等用时约为 2min。一年最多 4150 个病人。则注射人员（2 人轮流操作）一年工作时间为 51.9 小时，机房内辅助病人摆位工作人员（2 人轮流操作）一年时间为 69.2 小时。

②剂量率 D 参数

注射人员身体：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）6.1.6，放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，本项目按照 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 保守估算。

机房内辅助病人摆位工作人员：按患者单次最大注射 10mCi，根据核素衰变时间计算，经过 30min 时药物的衰减系数为 0.83，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 $26.22\mu\text{Gy/h}$ 。

③年有效剂量

注射的职业人员所受年最大有效剂量为 0.13mSv/a ，低于本次评价 5mSv/a 的有效剂量约束值。

机房内辅助病人摆位的职业人员所受年最大有效剂量为 1.81mSv/a ，低于本次评价 5mSv/a 的有效剂量约束值。

以上估算是在工作人员在最简单防护措施、且不考虑药物活度衰减情况下的计算结果，工作人员在实际工作中，采取穿戴铅防护眼镜、铅手套，正确佩戴个人剂量计等措施后，辐射工作人员受到的年有效剂量将小于环评估算的剂量。

(3) 公众成员年附加有效剂量

根据表 10.1 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紧邻区域主要为校园及道路，上层公众活动的紧邻区域包括教学公益平台及培训教室、协同中心 PI 办公室及资料室、中心主任办、临床诊断报告及影像数据中心等办公区域。

核医学科四周公众无长时间居留人员，为简化计算，按最不利情况考虑，四周关注点贯穿辐射剂量率均按照表 11.7、11.8 中墙体外最大剂量率取值计算。

上层公众人员各位置居留人员时间不同，因此各公众人员处关注点贯穿辐射剂量率按照表 11.7、11.8 中对应的计算结果取值。

根据医院提供信息，本项目场所 2 层临床诊断报告及影像数据中心工作人员在山大一院院区内和医科大轮班工作，即在山大一院工作 1 天，在医科大工作 1 天。PET 区域病人注射、扫描等工作

均集中在上午完成，下午不进行核医学科病人诊疗，场所辐射时间每天 4h，每年工作 250 天，年总辐射工作时间为 1000h。ECT 区域病人注射、扫描等工作全天进行，场所辐射时间每天 8h，每年工作 250 天，年总辐射工作时间为 2000h。公众年附加有效剂量的计算结果见下表。

表 11.12 公众成员所受年附加有效剂量计算结果

位置	相邻辐射场所	年总辐射时间 (h/a)	居留因子	最近距离 (m)	年受照时间 (h/a)	区域内最大辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年附加有效剂量 (mSv/a)
山西医科大学公共卫生学院	核医学科	2000	1	10	2000	根据表 11.9 计算结果，核医学科四周最大辐射剂量率为 $3.71\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ，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 $< 0.0001\mu\text{Sv/h}$	忽略不计
山西医科大学转化中心楼	核医学科	2000	1	28	2000		
山西医科大学 3#教学楼	核医学科	2000	1	45	2000		
医科大学家属楼	核医学科	2000	1	35	2000		
实验区	核医学科	2000	1	7	2000		
肿瘤蛋白研究室、脑科学研究室、精准诊疗心血管基础研究室	源库 分装室 注射准备室 注射室	232	1	3.6	232	$1.43\text{E-}01$	0.03
教学公益平台及培训教室	PETCT PETMR PET 留观室	1000	1/16	4.2	62.5	$4.35\text{E-}01$	0.03
协同中心 PI 办公室、中心主任办、协同中心理事单位	SPECT 室 ECT 候诊	2000	1	3.6	2000	$1.55\text{E-}6$	忽略不计
临床诊断报告及影像数据中心	PET 候诊室	1000	1/2	3.6	500	$1.43\text{E-}01$	0.07

由上表计算可知，周边关注点处公众成员年有效剂量满足公众成员 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年有效剂量均小于管理目标限值 5mSv/a ，所致公众人员年有效剂量均小于管理目标限值 0.1mSv/a ，满足管理要求。

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。

处理措施：

（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，防止其蔓延；
- 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蔓延；
- 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蔓延；
- 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、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 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，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 β 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）带到其它非放射工作场所；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。

(8) 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。

(9) 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对被污染区或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。

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，负责全员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；并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，并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。

根据环境保护部令第 3 号第十五条的规定：从事放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。

本次医院新增核医学科场所配备的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	2020 年剂量 mSv
核医 学科 工作 场所	程鹏亮	男	核医学	FS20SX0300043	2025.9.17	0.38
	程艳	女	核医学	FS20SX0300042	2025.9.17	0.24
	郭小闪	女	核医学	FS20SX0300024	2025.9.11	0.51
	韩刚	男	核医学	FS20SX0300058	2025.10.1	2.94
	郝新忠	男	核医学	FS20SX0300050	2025.9.21	0.35
	胡光	男	核医学	FS20SX0300039	2025.9.17	0.41
	胡婷婷	女	核医学	FS20SX0300028	2025.9.11	0.63
	雷智莉	女	核医学	FS20SX0300041	2025.9.17	0.33
	李聪革	女	核医学	FS20SX0300019	2025.9.11	0.31
	李立婷	女	核医学	FS20SX0300045	2025.9.21	0.43
	李梦春	女	核医学	FS20SX0300030	2025.9.11	0.73
	李清	女	核医学	FS20SX0300047	2025.9.21	0.61
	梁梦	女	核医学	FS20SX0300051	2025.9.21	0.28
	刘海燕	女	核医学	FS20SX0300067	2025.10.1	0.41
	刘建中	男	核医学	FS20SX0300061	2025.10.1	0.65
	刘丽娜	女	核医学	FS20SX0300040	2025.9.17	0.29
	刘娜	女	核医学	FS20SX0300022	2025.9.11	1.80
	陆克义	男	核医学	FS20SX0300020	2025.9.11	0.49
	彭家富	男	核医学	FS20SX0300031	2025.9.11	1.34
	秦志星	男	核医学	FS20SX0300032	2025.9.11	0.37
茹慧斌	男	核医学	FS20SX0300059	2025.10.1	0.62	
师晓丽	女	核医学	FS20SX0300027	2025.9.11	0.58	
宋廷瑞	男	核医学	FS20SX0300057	2025.10.1	0.46	
王红亮	男	核医学	FS20SX0300055	2025.10.1	0.17	
王进	男	核医学	FS20SX0300053	2025.9.21	1.19	
卫华	女	核医学	FS20SX0300029	2025.9.11	0.33	
温佳	女	核医学	FS20SX0300054	2025.9.21	0.66	

续表 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	2020 年剂量 mSv
核医学科工作场所	吴力翔	女	核医学	FS20SX0300023	2025.9.11	0.51
	武萍	女	核医学	FS20SX0300044	2025.9.21	0.44
	武志芳	女	核医学	FS20SX0300037	2025.9.17	1.43
	鄢敏	男	核医学	FS20SX0300038	2025.9.17	0.49
	杨素云	女	核医学	FS20SX0300026	2025.9.11	0.25
	张薇	女	核医学	FS20SX0300025	2025.9.11	1.32

12.2 辐射安全管理规章制度

山西医科大学第一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) 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、CT 机（PET-CT 机、SPECT-CT 机）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应建立衰变池废水检测制度。

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核素管理台帐，记录每种核素的名称、每次购买的量、购买时间等详细信息。

补充新增加射线装置台帐，详细记录射线装置名称、类别、型号、管电压与管电流等参数、购买时间、安装时间、开始使用时间等详细信息。

（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。

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。

12.2.4 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 本工程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	相关批复文件	环评批复文件是否齐备。
2	相符性	辐射工作场所位置、布局、机房屏蔽、设备参数与环评及环评批复是否一致。
		核医学科运行的核素的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。
		对辐射工作人员的辐射剂量贡献值是否满足<5mSv/a；公众成员<0.1mSv/a 的标准要求。
		核医学科废水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。
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	按照本报告内表 10 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。
8	人员要求	辐射工作人员取得上岗证书且均在有效期内。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测目的

通过对辐射项目周围剂量当量率和 β 表面污染的监测，了解该项目对环境的影响程度；通过对个人有效剂量的监测，了解该项目对职业人员受照情况，为项目的安全管理防护措施的改进及职业评价提供依据；通过对衰变池放射性废水的监测，保证放射性废水达标排放。

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 进行，个人有效剂量监测按照《职业性外照射个人监测规范》GBZ128-2019 进行；核医学科表面污染按照《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 进行；放射性废水监测按照《水中总 β 放射性测定 蒸发法》（EJT900-1994）。

12.3.4 监测内容

场所监测内容主要是周围剂量当量率、 β 表面污染；个人剂量监测内容主要是辐射工作人员个人剂量的监测；放射性废水总 β 值。

12.3.5 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	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面。	不少于 1 次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

12.3.5.2 环境监测

开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对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 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（铅衣外锁骨处剂量计、包括腕部剂量计）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”。

12.3.5.3 放射性废水监测

委托有资质的单位采样收集放射性废水衰变池出口的废水进行监测。监测频次（1次/次）。

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）

12.4 辐射事故应急

根据国家环保部18号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《山西省辐射事故应急预案》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安排部署，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，但预案内容不够完善，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，并列明每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) 增加可能发生辐射事故的意外条件。
- (5) 增加辐射事故应急预案启动、终止的相关条件。
- (6) 增加应急救助的装备、资金保障情况。
- (7) 增加应急宣传与演练等内容。

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。

12.5 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。	从事辐射工作人员已全部参加环保辐射安全与防护培训和考核，合格后上岗。
3	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	已制定相应的操作规程，人员出入口处设置电离辐射警告标志，设门禁系统，门灯联锁装置等。
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。	拟配剂量监测仪、表面污染检测仪及个人剂量报警仪。配备防护衣、防护眼镜、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。	已制定相关制度及操作规程。
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。

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	<p>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。</p>	<p>机房门采取电动门，设置门灯连锁装置，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；放射性工作场所出入口设置门禁系统及视频监控。</p>
2	<p>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。</p>	<p>拟配备环境辐射监测仪、表面剂量监测仪进行自测，并定期委托有辐射水平监测资质的单位对辐射工作场所及其周围环境进行监督监测。</p>
3	<p>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。</p>	<p>每年 1 月 31 日前向环保部门提交年度评估报告。</p>
4	<p>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。</p>	<p>从事辐射工作人员已全部参加环保辐射安全与防护培训和考核，合格后上岗。</p>
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。</p>	<p>已对所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，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。</p>
6	<p>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。</p>	<p>委托有资质单位（中辐院）进行个人剂量监测（每季度 1 次）。</p>

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	场所分区布局合理、拟设相应标识
2		电离辐射警告标志	拟配电离辐射警告标志
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	拟配铅屏风
5		给药操作人员屏蔽	拟配铅衣、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	设有病人专用卫生间
8		放射性核素暂存场所或设施	设有储存柜
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	每人配备个人剂量计
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	设有废水衰变池
14		放射性固体废物暂存场所或设施	专用放射性废物桶
15	D 防护 器材	个人防护用品	拟配备铅衣、铅帽等防护用品
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	已制定放射性药物管理制度
3	B 场所	场所分区管理规定	拟进行场所分区管理规定
4		操作规程	已制定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	已制定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	无病房设置
7	C 监测	监测方案	已制定监测方案
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	已制定辐射事故/事件应急预案
12	F 三废	放射性“三废”管理规定	已制定放射性“三废”管理制度

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。

12.6 产业政策符合性分析与实践正当性分析

本项目系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，2022 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，对射线装置、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。因此，在正确使用和管理射线装置、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。

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：

新增乙级非密封放射性工作场所，使用 5 种核素： ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{82}Sr - ^{82}Rb 、 ^{68}Ga ，内设一台 PET/CT、一台 PET/MR、一台 SPECT/CT，位于山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层东区，污染途径为 γ 射线外照射、 β 表面污染及 X 射线外照射。

13.1.2 辐射实践正当化

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，由本项目的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，该医院非密封放射性核素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 剂量率评价

13.1.3.1 现状剂量率评价

由检测结果可知，该医院核医学科及评价范围内环境地表 γ 辐射剂量率监测值在（91~98）nGy/h 之间，根据生态环境部发布的“2020 年全国辐射环境质量报告”，山西省空气吸收剂量率为（79.0~92.4）nGy/h，因此本项目评价范围内的环境 γ 辐射剂量率属于正常的辐射本底水平。

由检测分析结果可知，采样土壤总 β 分析测量值为 760Bq/kg，属于正常天然本底水平。采样土壤中各应用核素均低于探测下限。

13.1.3.2 剂量率预测评价

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 GBZ120-2020 中“在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”及 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 $\mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求。

13.1.4 有效剂量估算结果

通过计算，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

年附加有效剂量能满足 5mSv/a 的剂量约束值要求，公众成员的年附加有效剂量能满足 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。

13.1.5 选址的合理性

本项目核医学科位于山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼东区，不毗邻产科、儿科、食堂等部门，和其他工作区域相邻，但不相通，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。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应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，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，因此项目选址及整体布局合理。

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，乙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，避免了感染交叉，该项目在完善本报告提出的设置指示灯、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方合理、全面。

(2) 核医学科设置有独立的放射性废水衰变池，衰变池的容积可以满足排放要求。放射性废水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水进行监测，以满足达标排放的要求。废水的排放满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中 7.3.3.1 的规定的总 β 浓度小于 10Bq/L 的排放要求及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》导出的核素排放限值要求。

(3) 放射性固体废物集中暂存于固废间的污物桶内，废物经检测达标后，可作为普通医疗废物处理。

(4) 拟建核医学科单独设置了 4 套排风系统，排风管道单独设置，排风经过活性炭吸附过滤后排放至竖井内专用排风管道，楼顶安装引风机，排至该楼的房顶上排放，且放射性药物合成、分装室设置有单独的专用排放系统，风速按照本报告要求设置大于 0.5m/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。

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、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《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防

护管理办法》（环境保护部令第 18 号）和生态环境部（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

迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目（核技术利用项目）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：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日

附 图

附图 1：项目地理位置图

附图 2：项目四邻关系图

附图 3：本项目核医学科平面布置图

附图 4：本项目核医学科辐射防护分区图

附图 5：本项目核医学科人流、物流图

附图 6：本项目核医学科辐射排风平面图

附图 7：本项目核医学科辐射放射性废水排放平面图

附图 8：本项目核医学科衰变池示意图

附 件

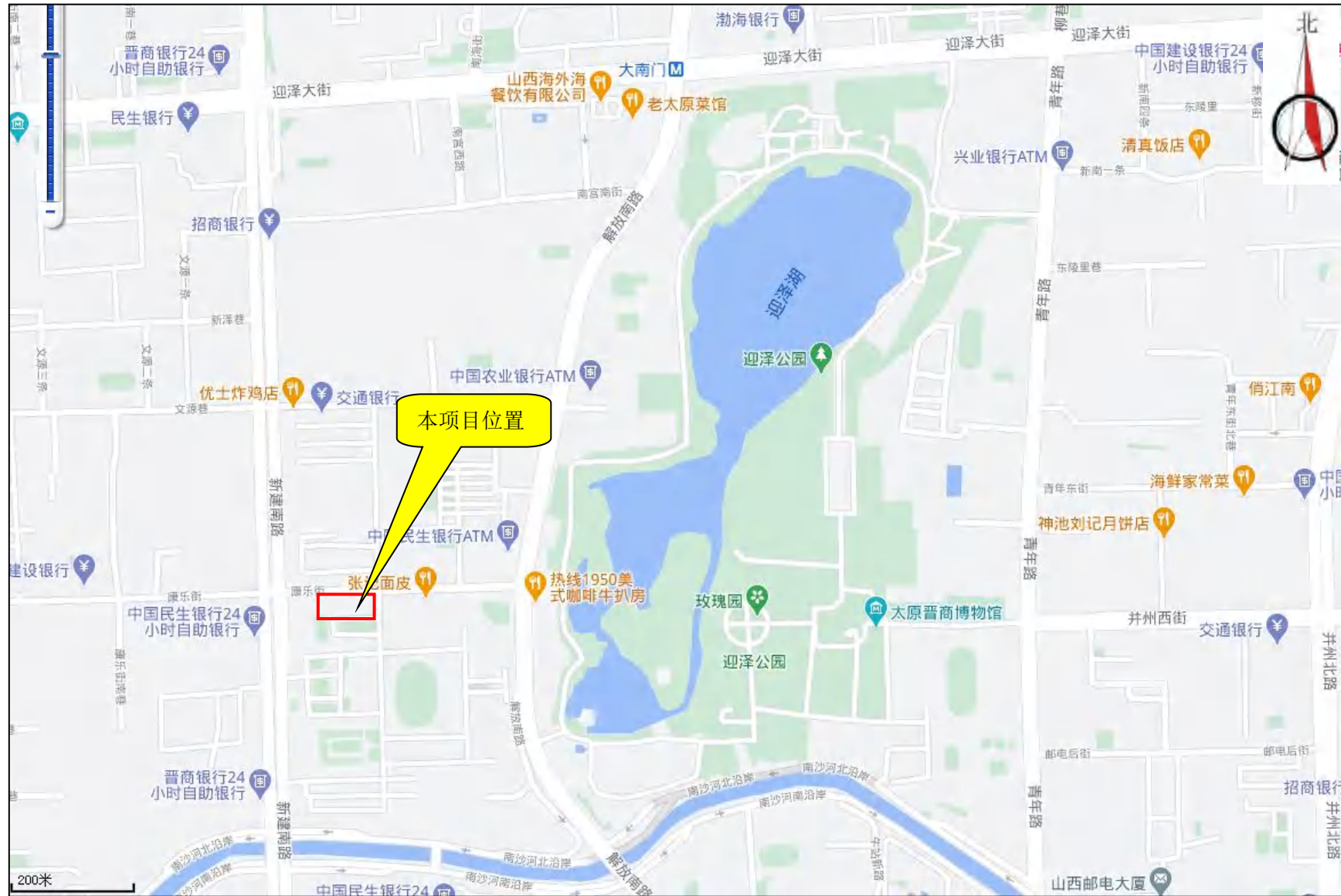
附件一：项目委托书

附件二：山西省卫生健康委员会关于同意山西医科大学第一医院增加执业地点的
批复(晋卫医函[2021]77号)

附件三：杭州旭辐检测技术有限公司环境地表 γ 辐射剂量率检测报告

附件四：中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心土壤分析报告

附件五：山西医科大学提供资料

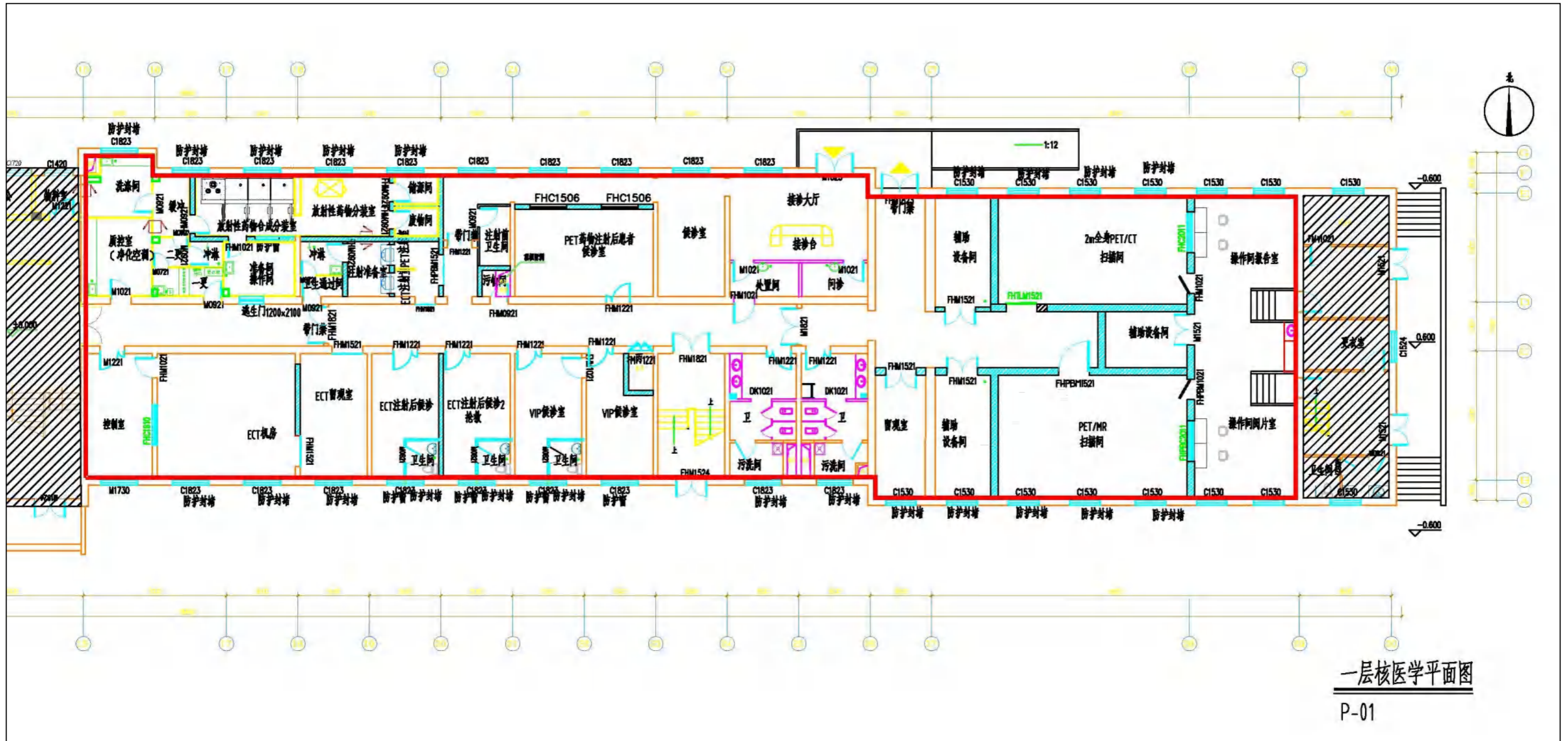


项目地理位置图



项目四邻关系图

附图 3



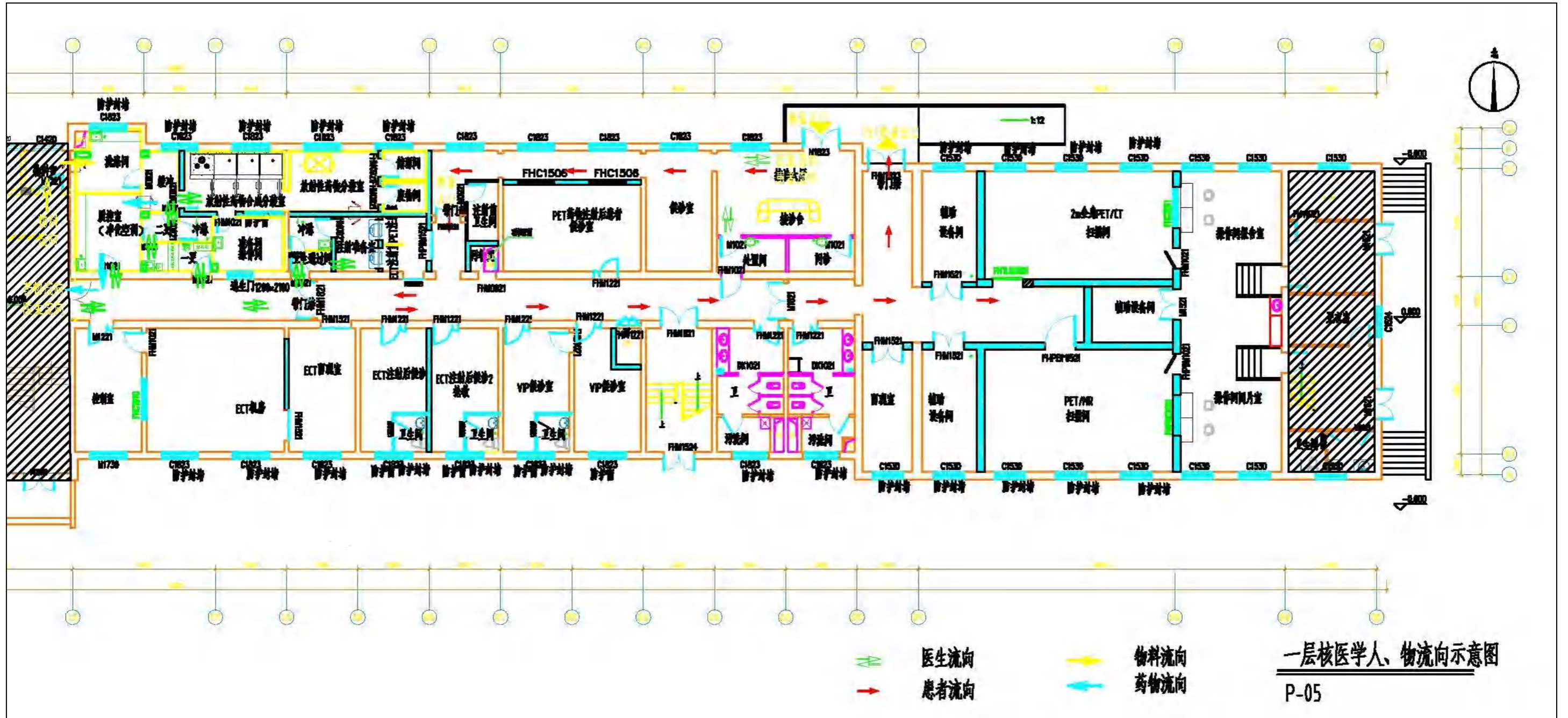
本项目核医学科平面布置图

附图 4



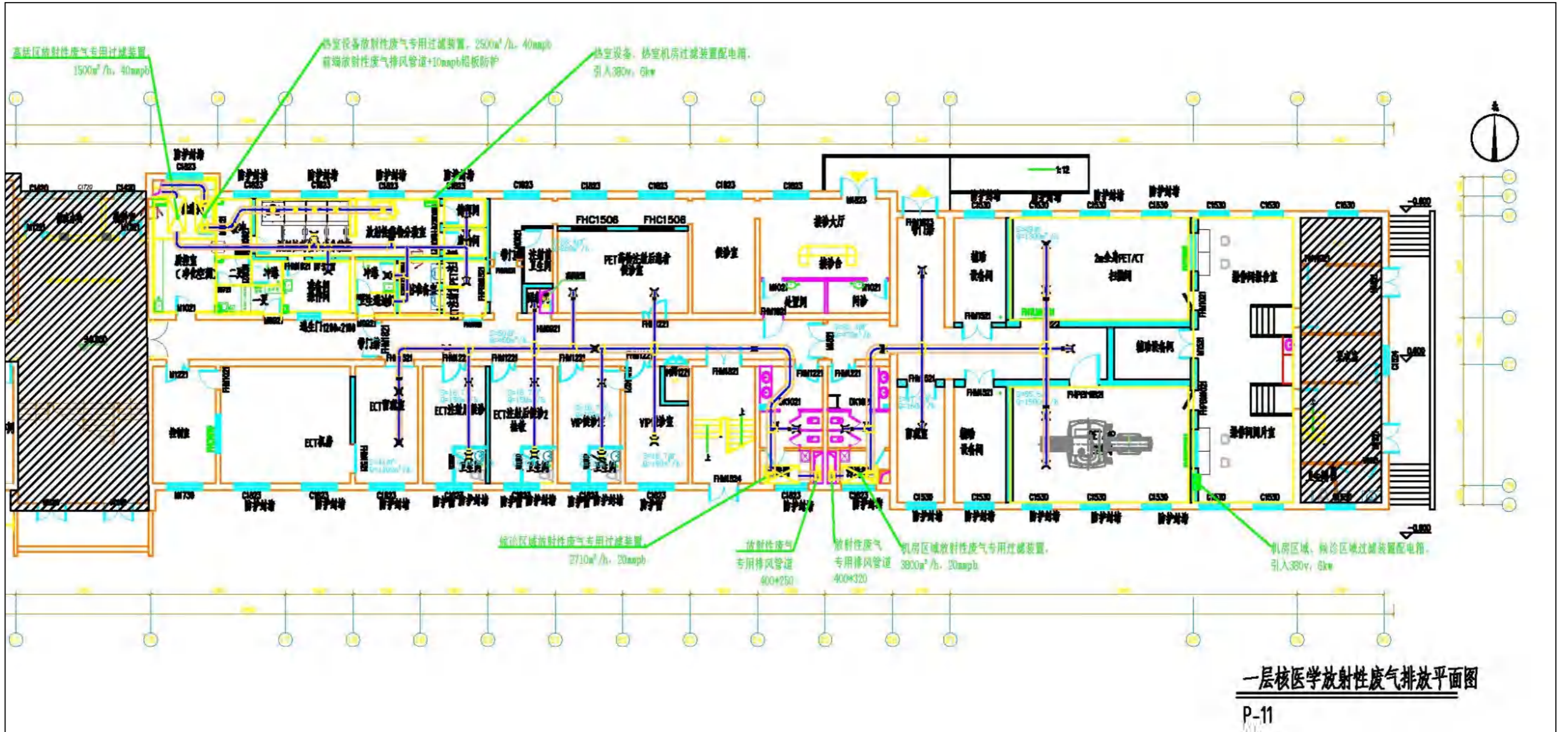
本项目核医学科辐射防护分区图

附图 5



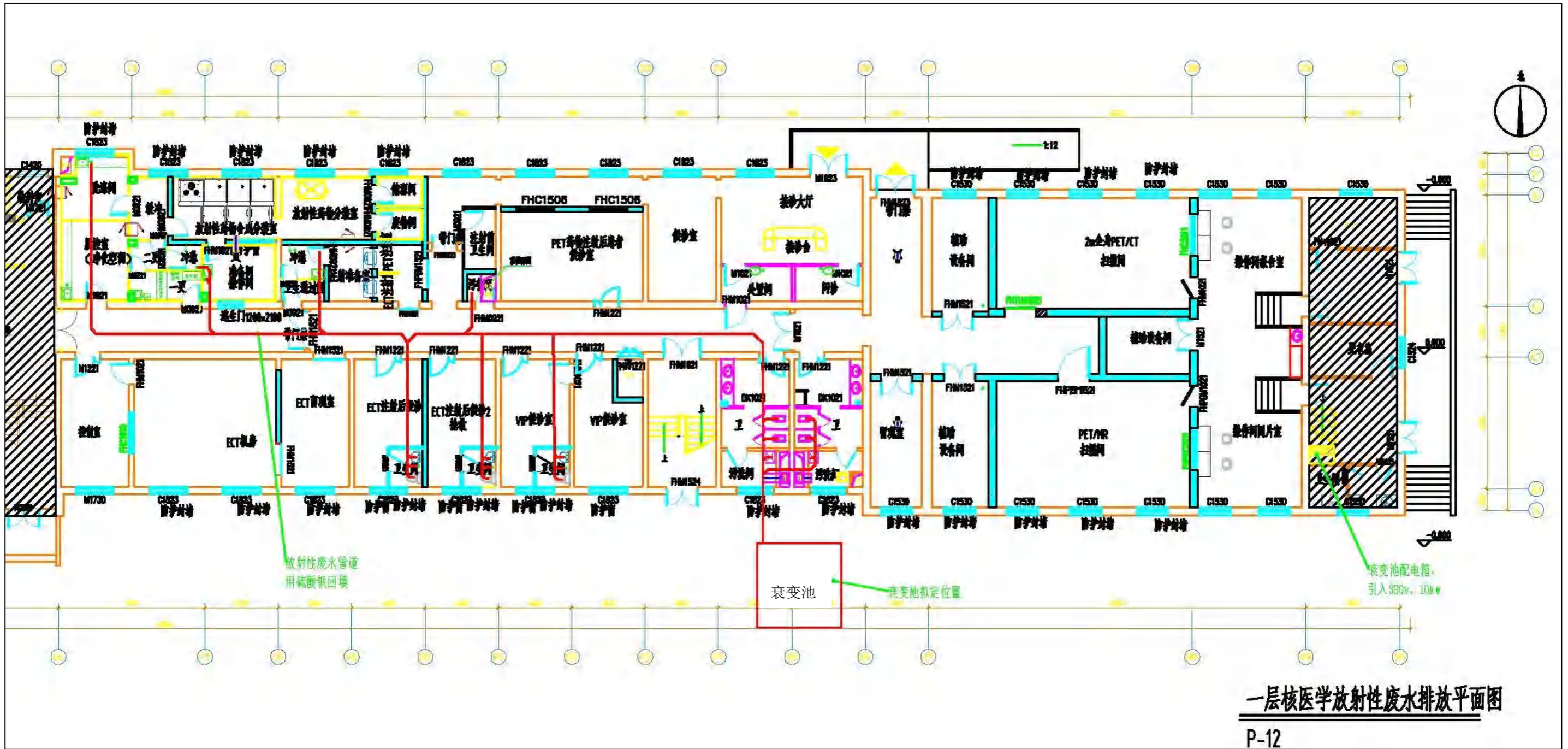
本项目核医学科顶面防护图

附图 6

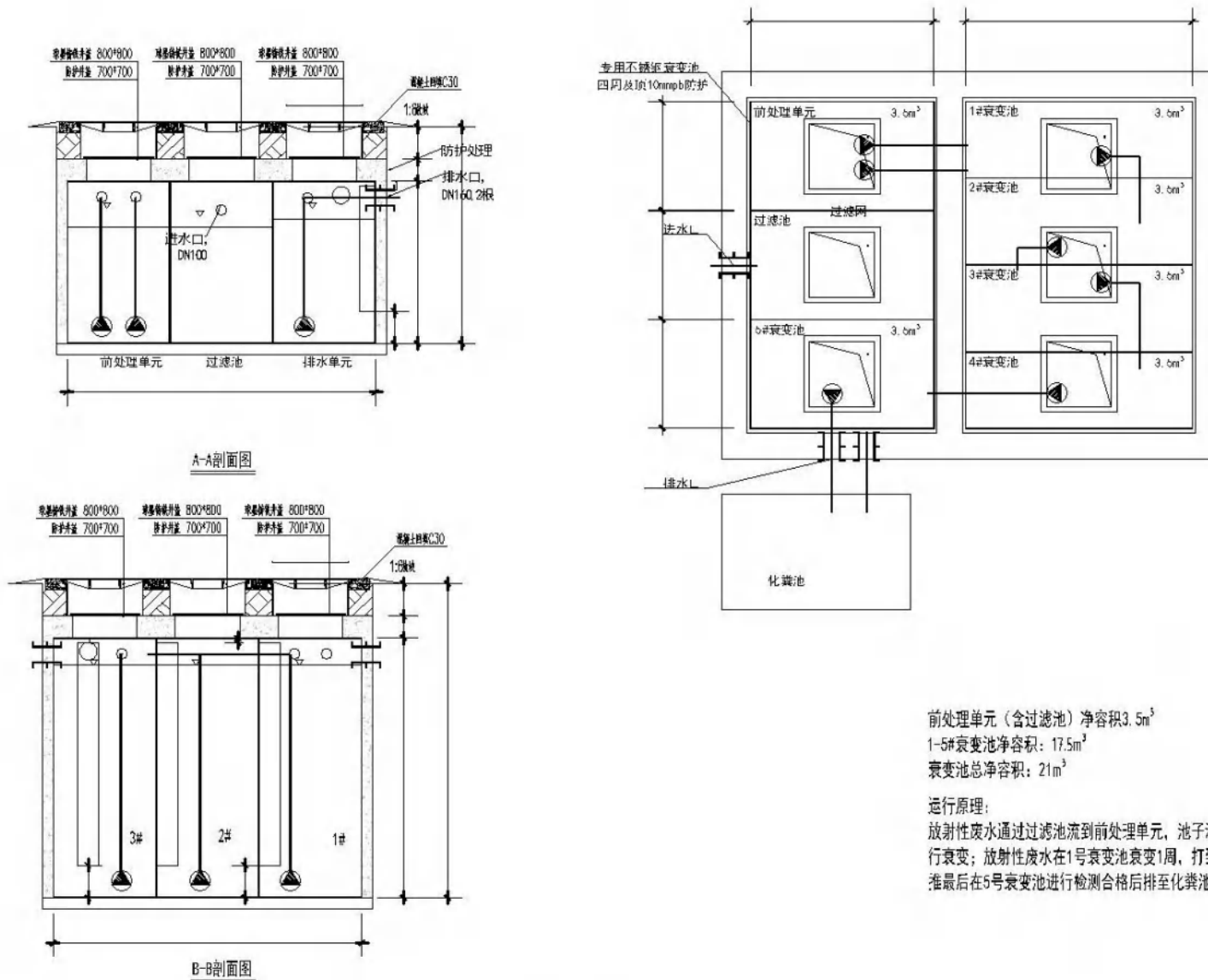


本项目核医学科辐射排风平面图

附图 7



本项目核医学科辐射放射性废水排放平面图



由 AUTODESK 学生版生成

本项目核医学科衰变池示意图

项目委托书

委托方：山西医科大学

承接方：山西大地晋新环境科技研究院有限公司

山西医科大学现委托山西大地晋新环境科技研究院有限公司承担迎泽校区北U教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目（核技术利用项目）环境影响评价工作，特此委托。

委托方：山西医科大学



承接方：山西大地晋新环境科技研究院有限公司 (盖章)

2021年10月11日

山西省卫生健康委员会

晋卫医函〔2021〕77号

山西省卫生健康委员会 关于同意山西医科大学第一医院 增加执业地点的批复

山西医科大学第一医院：

你院《关于增加医疗执业地点的请示》（院〔2021〕201号）收悉，经我委研究，现批复如下：

一、根据医疗机构管理相关规定，同意山西医科大学第一医院增加执业地点，新地址位于山西医科大学迎泽校区（太原市迎泽区新建南路56号）北U楼。

二、请按照有关规定办理变更登记注册相关手续。
此复。

山西省卫生健康委员会

2021年12月28日



附件三

报告编号: HZXFHJ216511


杭州旭辐检测技术有限公司 检测 报 告

项目名称 山西医科大学第一医院核医学临床研究中心
核技术利用项目环境 γ 辐射剂量率现状检测
委托单位 山西医科大学第一医院
检测类别 委托检测
检测项目 γ 辐射剂量率
编制日期 2021年11月25日

(加盖检测报告专用章)



说 明

1. 报告无本公司检测报告专用章、骑缝章及  章无效。
2. 本报告无编制人、审核人、签发人签名无效；
3. 复制报告未重新加盖本公司检测报告专用章及骑缝章无效。
4. 报告涂改无效。
5. 对不可复现的检测项目，结果仅对检测当时所代表的时间和空间负责。

公司名称：杭州旭辐检测技术有限公司

公司地址：杭州市下城区华西路 299、301 号 4 幢 6 楼 305 室

电话：0571-85815015

传真：0571-85383753

电子邮件：hzxfhb@126.com

邮政编码：310022

杭州旭辐检测技术有限公司

检 测 报 告

检测项目	山西医科大学第一医院核医学临床研究中心核技术利用项目 环境γ辐射剂量率现状检测
委托单位名称	山西医科大学第一医院
委托单位地址	山西省太原市迎泽区解放南路 85 号
检测方式	现场检测
委托日期	2021 年 10 月 11 日
检测日期	2021 年 11 月 18 日
检测结果	见第 3 页表 1
检测依据	电离辐射防护与辐射源安全基本标准 GB18871-2002 环境γ辐射剂量率测量技术规范 HJ1157-2021
检测结论	/

报告编制人 吴芳 审核人 陈宇明 签发人 陈宇明

编制日期 2021.11.25 审核日期 2021.11.25 签发日期 2021.11.25



一
检
一

杭州旭辐检测技术有限公司

检测报告

检测所使用的主要仪器设备名称、型号规格、编号及检定有效期限	仪器设备名称: 环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪 仪器设备型号: JC-5000 仪器编号: JC70-09-2019 检定机构: 上海市计量测试技术研究院 检定证书号: 2021H21-10-3324684001 有效期: 2021 年 5 月 31 日-2022 年 5 月 30 日
技术指标	能量响应: 48KeV \sim 3MeV $\leq\pm 30\%$ (相对于 ^{137}Cs) 量程: 1nGy/h \sim 200 μ Gy/h, 1nSv/h \sim 200 μ Sv/h
检测地点	山西医科大学第一医院核医学临床研究中心机房及周围环境; 检测点位见第 4 页图 1、第 5 页图 2。
检测环境	环境温度: -3°C ; 环境湿度: 45%; 天气状况: 晴。
备注	该项目拟设于位于山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层东区, 场所楼上为模拟教学公益平台及培训教室、办公室、实验室等、楼下为土层, 本次检测对拟使用核技术利用项目机房及周围 50m 范围内的场所进行环境 γ 辐射剂量率现状检测。

杭州旭辐检测技术有限公司

检测报告

表1 环境 γ 辐射剂量率检测结果

检测 点位号	点位描述	检测结果 (nGy/h)	
		平均值	标准差
▲1	一层 PET/CT 机房中央	94	0.95
▲2	一层 PET/MR 机房中央	94	0.87
▲3	一层 PET 区域走廊	92	0.67
▲4	一层污洗间外走廊	93	0.32
▲5	一层 ^{18}F 注射后候诊室中央	93	0.87
▲6	一层 ^{18}F 注射后 VIP 候诊室中央	93	0.67
▲7	一层 ^{99}Tc 注射后候诊室中央	91	1.09
▲8	一层 ECT 区域走廊	92	0.63
▲9	一层分装室中央	92	0.95
▲10	一层 ECT 机房中央	96	0.83
▲11	二层培训教室中央	96	1.90
▲12	二层人工智能研究软件开发室中央	98	1.80
▲13	二层协同中心 PI 室中央	98	2.47
▲14	2#教学楼东侧	97	1.37
▲15	3#教学楼北侧	95	0.71
▲16	医科大学转化中心楼西侧	95	1.06
▲17	医科大学公共卫生学院西侧	98	1.64
▲18	医科大学家属楼南侧	98	2.07

杭州旭辐检测技术有限公司 检测报告

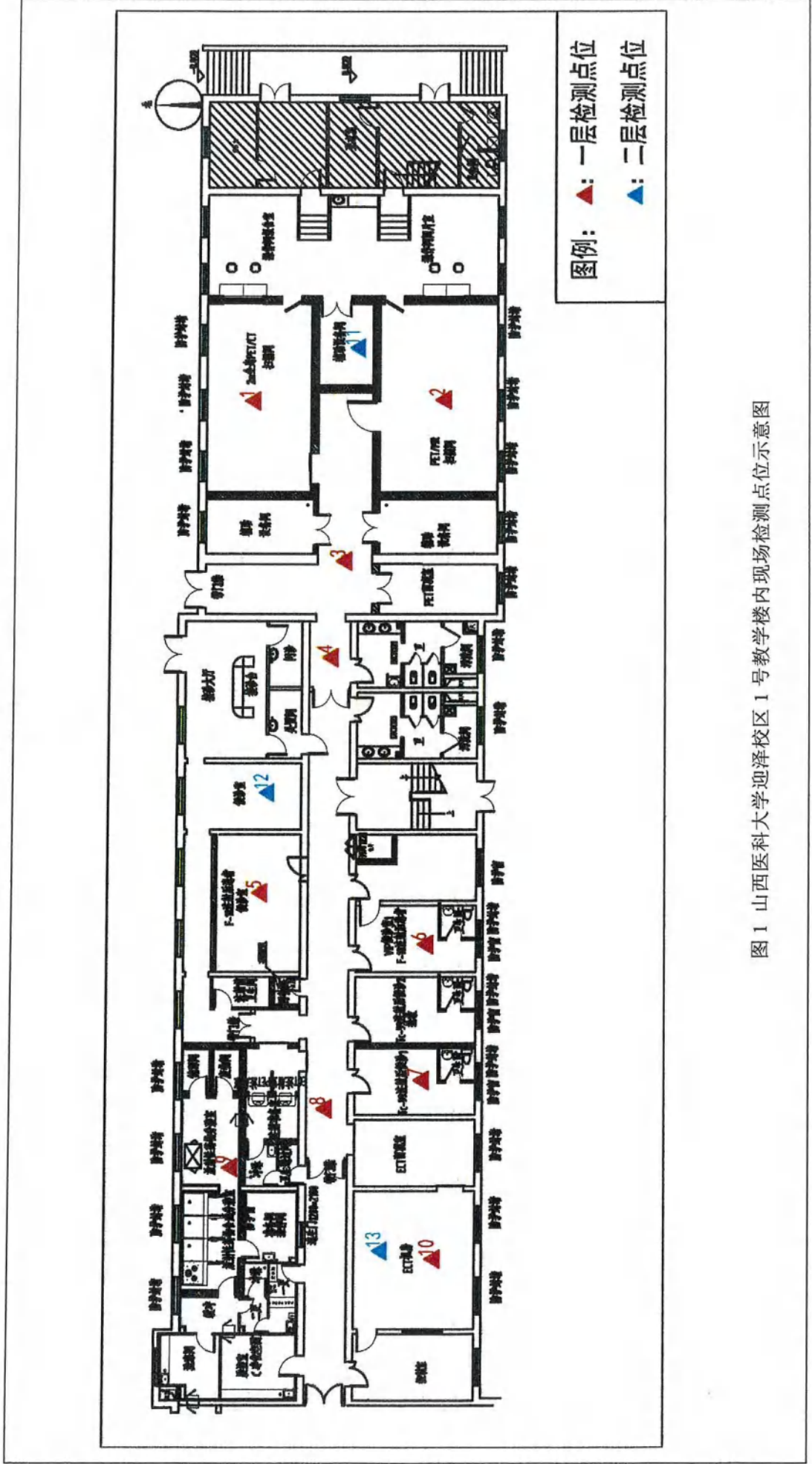


图 1 山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼内现场检测点位示意图



中心编号：(2021) 0249

QTR/FX01/E-1/2019

第 1 页 共 4 页

中国辐射防护研究院
核工业太原环境分析测试中心

检测报告

样品名称 土壤
送检单位 山西医科大学第一医院
检测类别 委托
批准人 王冰竹

报告发送日期 2021年12月16日



注 意 事 项

1. 报告无检测单位专用公章无效。
2. 复制报告未重新加盖检测单位专用公章无效。
3. 报告无批准人签章无效。
4. 报告涂改无效。
5. 对检测报告若有异议，应于收到报告之日起三十日内向检测单位提出，逾期不予受理。
6. 委托检测仪对来样负责。
7. 实验室对客户提供的抽样信息真实性不承担责任。

地 址：山西省太原市学府街 102 号

邮政编码：030006

通讯处：太原市 120 信箱

电话：0351-2203825

检 测 报 告

QTR/FX01/E-1/2019

第 3 页 共 4 页

委托单位	山西医科大学第一医院	委托人/电话	王红亮/13303511812	
联络地址	山西医科大学迎泽校区			
样品描述	土壤样品，袋装，共 1 个。 抽样信息为客户提供：是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>			
送样日期	2021.11.23	样品接收人员	徐 萌	
检测地点	<input checked="" type="checkbox"/> 低本底实验楼 <input type="checkbox"/> 放射性综合设施 <input type="checkbox"/> 其他：_____			
检测依据	GB/T 11743-2013 《土壤样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》 EJ/T 1075-1998 《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》 EJ/T 900-1994 《水中总 β 放射性浓度的测定 蒸发法》			
分析仪器	名称	型号	编号	检定/校准有效期
	HPGe 谱仪	GEM40P4-76	48-TP32444A	2022.10.20
	低本底 α/β 测量仪	LB770	6438	2022.3.1
	/	/	/	/
	/	/	/	/
	/	/	/	/

检测日期： 2021 年 11 月 29 日 至 2021 年 12 月 13 日



检测 报 告

QTR/FX01/E-1/2019
第 4 页 共 4 页

样品编号	原样品编号	分析结果 (单位: Bq/kg)								备注
		总 α	总 β	^{99m}Tc	^{18}F	^{13}N	^{82}Rb	^{89}Zr	^{68}Ga	
213728	1号教学楼1层东区	443	760	<0.72	<0.75	<0.72	<5.5	<2.1	<26	/
以下空白										

审核者: 李德龙 李鹏新 分析者: 王美

中国辐射防护研究院
核工业太原环境分析测试中心
提交报告日期: 2021年12月16日



报告结束



迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目
(核技术利用项目) 基本情况说明



山西医科大学组织实施的迎泽校区北 U 教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目(核技术利用项目),位于山西医科大学迎泽校区 1 号教学楼一层东区,项目由山西医科大学承办建设,因此项目环评任务由山西医科大学委托。项目建设完成后由山西医科大学第一医院核医学科具体管理并实施使用,因此报告中须按照山西医科大学第一医院使用核技术利用项目进行评价,后期办理辐射安全许可证等事项均按照山西医科大学第一医院名义进行。项目主要用于开展核医学 PET/CT、PET/MR、SPECT 等医学影像的临床使用。所用医用设备为一台 PET/CT、一台 PET/MR、一台 SPECT/CT,所用放射性药物均是根据使用量由放射性药物生产公司直接配送,暂存于储源室,当天到货当天使用。患者注射、扫描等诊疗活动均在每天上午开展。

所用核素使用量如下:

- (1) ^{99m}Tc : 每人最大用量 $8.0 \times 10^8 \text{Bq}$ (21.6mCi), 日最大检查诊疗 20 人, 年最大诊疗人数 5000 人(每周5天, 年50周)。
- (2) ^{18}F : 每人最大用量 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi), 日最大检查诊疗 15 人, 年最大诊疗人数 3750 人(每周5天, 年50周)。
- (3) ^{64}Cu : 每人最大用量 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi), 日最大检查诊疗 3 人, 年最大诊疗人数 100 人(每周2天, 年17周)。
- (4) ^{82}Sr - ^{82}Rb : 每人最大用量 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ (50mCi), 日最大检查诊疗 3 人, 年最大诊疗人数 100 人(每周2天, 年17周)。
- (5) ^{68}Ga : 每人最大用量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi), 日最大检查诊疗 6 人, 年最大诊疗人数 200 人(每周2天, 年17周)。

迎泽校区北U教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目

放射性相关工作场所屏蔽情况一览表


序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
1	PET/CT	东墙	控制室	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
		南墙	辅助设备间 患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	辅助设备间	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		北墙	室外（康乐街）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	教学公益平台及 培训教室	60mm 混凝土+10mm 铅板
		防护门（南墙）	患者走廊	8mmpb 电动防护推拉门
		防护门（东墙）	控制室	15mmpb 手动防护平开门
		观察窗（东墙）	控制室	15mmpb 铅玻璃
2	PET/MR	东墙	控制室	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
		南墙	室外（校园）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	辅助设备间	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		北墙	辅助设备间 患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	教学公益平台及 培训教室	60mm 混凝土+10mm 铅板
		防护门	患者走廊	8mmpb 手动防护屏蔽平开门
		防护门	控制室	15mmpb 手动防护屏蔽平开门
		观察窗（东墙）	控制室	15mmpb 铅玻璃屏蔽观察窗
3	PET 留观室	东墙	辅助设备间	500 实心砖
		南墙	室外（校园）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	卫生间	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	走廊	60mm 混凝土+10mm 铅板
		防护门	患者走廊	6mmpb 双扇手动防护平开门

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
4	SPECT/CT	东墙	注射后候诊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外 (校园)	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	控制室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	协同中心 PI 办公室及资料室 中心主任办	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 电动防护推拉门
		防护门	控制室	6mmpb 手动防护平开门
		观察窗	控制室	6mmpb 铅玻璃观察窗
5	PET 药物 注射后候 诊室	东墙	候诊室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡 +5mm 铅板
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	注射前卫生间 污物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡 +5mm 铅板
		北墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡 +5mm 铅板
		地板	土层	/
		顶板	临床诊断报告及 影像数据中心	150mm 混凝土+15mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	12mmpb 子母手动防护平开门
6	ECT 注射 后候诊室 2 (抢救)	东墙	VIP 候诊室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外 (校园)	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	SPECT/CT 注射后候诊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	协同中心理事单 位办公室、资料室	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	4mmpb 子母手动防护平开门

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
7	VIP 候诊室	东墙	楼梯间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外（校园）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	ECT 注射后候诊室 2（抢救）	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	分子影像智能、云平台研究室	150mm 混凝土+15mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 子母手动防护平开门
		防护门	东侧 VIP 候诊室	6mmpb 单扇手动防护平开门
8	ECT 注射后候诊室 1	东墙	ECT 注射后候诊室 2（抢救）	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外（校园）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	SPECT/CT 机房	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	协同中心理事单位办公室、资料室	150mm 混凝土+5mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	4mmpb 子母手动防护平开门
9	污物间	东墙	注射后候诊 1	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	注射前卫生间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	新型防辐射设备研发中心	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 单扇手动防护平开门
10	污洗间	东墙	留观室	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		南墙	室外（校园）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	楼梯	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	卫生间	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	患者走廊	6mmpb 子母手动防护平开门

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
11	问诊大厅	东墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡 +5mmpb 铅板
12	注射室	东	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西	注射准备室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北	废物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管 基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	走廊	12mmpb 电动防护推拉门
		防护门	患者走廊	6mmpb 电动防护推拉门
13	注射准备室	东墙	注射室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	患者走廊	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		西墙	卫生通过间、冲淋	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	放射性药物合成、 分装室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管 基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	冲淋	12mmpb 单扇手动防护平开门
		药物传递防护窗	放射药物分装室	10mmpb 防护净化传递窗
		一体化注射装置	注射室	20mmpb
		一体化注射装置	注射室	50mmpb
14	放射性药物分装、合成室	东墙	储源间、废物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	注射准备 冲淋、操作间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		西墙	缓冲间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	室外（康乐街）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	肿瘤蛋白组学研 究室（PI）	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	缓冲	10mmpb 单扇手动防护平开门
		防护窗	操作室	10mmpb 铅玻璃

序号	场所	方位	相邻场所	屏蔽材料及厚度
15	储源间	东墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	废物间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		西墙	放射性药物合成室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	室外（康乐街）	370 实心砖+3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	放射药物合成室	10mmpb 单扇手动防护平开门
16	废物间	东墙	注射前走廊	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		南墙	注射室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		西墙	放射性药物合成室	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		北墙	储源间	240 实心砖+内外各 3mmpb 硫酸钡
		地板	土层	/
		顶板	精准诊疗心血管基础研究实验室	150mm 混凝土+10mmpb 铅板防护
		防护门	放射性药物合成室	10mmpb 单扇手动防护平开门



 迎泽校区北U教学楼改建项目分子影像精准诊疗协同创新中心建设项目
 （核技术利用项目）防护、监测设备一览表

序号	种类名称	设置场所	铅当量	数量
1	研发合成热室	放药合成室	70mmPb	1
2	F18分装热室	放药合成室	60mmPb	1
3	PET落地式注射防护装置	注射室	50mmPb	1
4	PET注射器防护提盒	放药合成室	20mmpb	2
5	注射器防护套	放药合成室	10mmpb	4
6	PET防护废物桶	放药合成室/注射室	20mmpb	2
7	PET储源保险箱	放药合成室	20mmpb	1
8	PET药物转运铅罐	放药合成室	40mmPb	2
9	钨铍双联净化防护通风柜	放药合成室	20mmpb	1
10	ECT落地式注射防护装置	注射室	10mmpb	1
11	ECT注射器防护提盒	注射室	5mmpb	2
12	注射器防护套	注射室	5mmpb	4
13	ECT防护废物桶	注射室	5mmpb	4
14	ECT储源保险箱	放药合成室	10mmPb	1
15	工作人员防护用品 (铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜)	放药合成室/注射室	0.5mmPb	8
16	患者防护用品 (铅围裙、铅方巾、铅围脖)	扫描室	0.5mmPb	4
17	铅胶衣架	扫描室	/	4
18	个人剂量检测仪	/	RAD-60	5
19	表面沾污仪	/	INSPECTOR Alert-V2	2
20	活度计	/	CRC-25R	2
21	环境剂量监控	放药合成室	QDFS-H02	1

