

表 1 项目概况

建设项目名称		西安前海人寿医院新建 PET-CT 及医用射线装置核技术利用项目			
建设单位		西安前海人寿医院有限公司			
法人代表	丁书勇	联系人	魏嘉丛	电话	
注册地址		西安市浐灞生态区金桥三路 418 号前海人寿金融中心 1 号楼 3 层			
项目建设地点		西安市浐灞生态区新岛路以东，香胡湾二路以南。医院综合楼地下一层核医学科、一层介入手术室、二层内镜中心、四层杂交手术室。			
立项审批部门		西安浐灞生态区 发展和改革局	批准文号	西浐灞发改发 (2017) 42 号	
建设项目总投资 (万元)		1500	环保投资 (万元)	300	投资比例 20%
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)	1300
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	制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线 装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
其他	/				
<p>一、建设单位简介</p> <p>西安前海人寿医院有限公司是前海人寿保险股份有限公司医疗板块的子公司之一，主要负责西安前海人寿医院的建设、管理工作。西安前海人寿医院建成后立足西安、辐射西北，借助国内外先进医院的成熟运营管理经验，引进一流的专家人才、医疗技术、医疗和康复设备，为患者提供现代化高品质的就医服务。</p> <p>西安前海人寿医院建设地位于西安市浐灞生态区新岛路以东、香胡湾二路以南，面积约 109 亩，总建筑面积约 18.73 万 m²，规划床位 800 张。计划打造“大综合、强专科”模式，以综合医疗服务为基础，心脑血管病、呼吸科疾病、妇产科疾病、普通外科疾病、创伤及康复为重点专科特色，集医疗、预防、保健、康复、教学和科研于一体的现代化、生态型三甲综合性医院。西安前海人寿医院建设位置见图 1-1，医院</p>					

周围环境见图 1-2。西安前海人寿医院已开始建设，目前正处于大楼地基处理阶段。



图 1-1 西安前海人寿医院建设位置示意图



图 1-2 西安前海人寿医院建设地周围环境关系图

二、项目由来

为了更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，服务广大人民群众，西安前海人寿医院有限公司计划在西安市浐灞生态区新岛路以东、香湖湾二路以南区域建设西安前海人寿医院，并计划开展 PET-CT 及医用射线装置核技术利用项目，本项目位于一期医疗综合楼内，其中 ^{18}F 使用场所、PET-CT 安装机房位于综合楼地下一层核医学科，4 台 DSA 设备分别位于一层介入手术室和四层杂交手术室，1 台中 C（C 型臂 X 光机）安装于二层内镜中心。医院平面布置图见图 1-3。

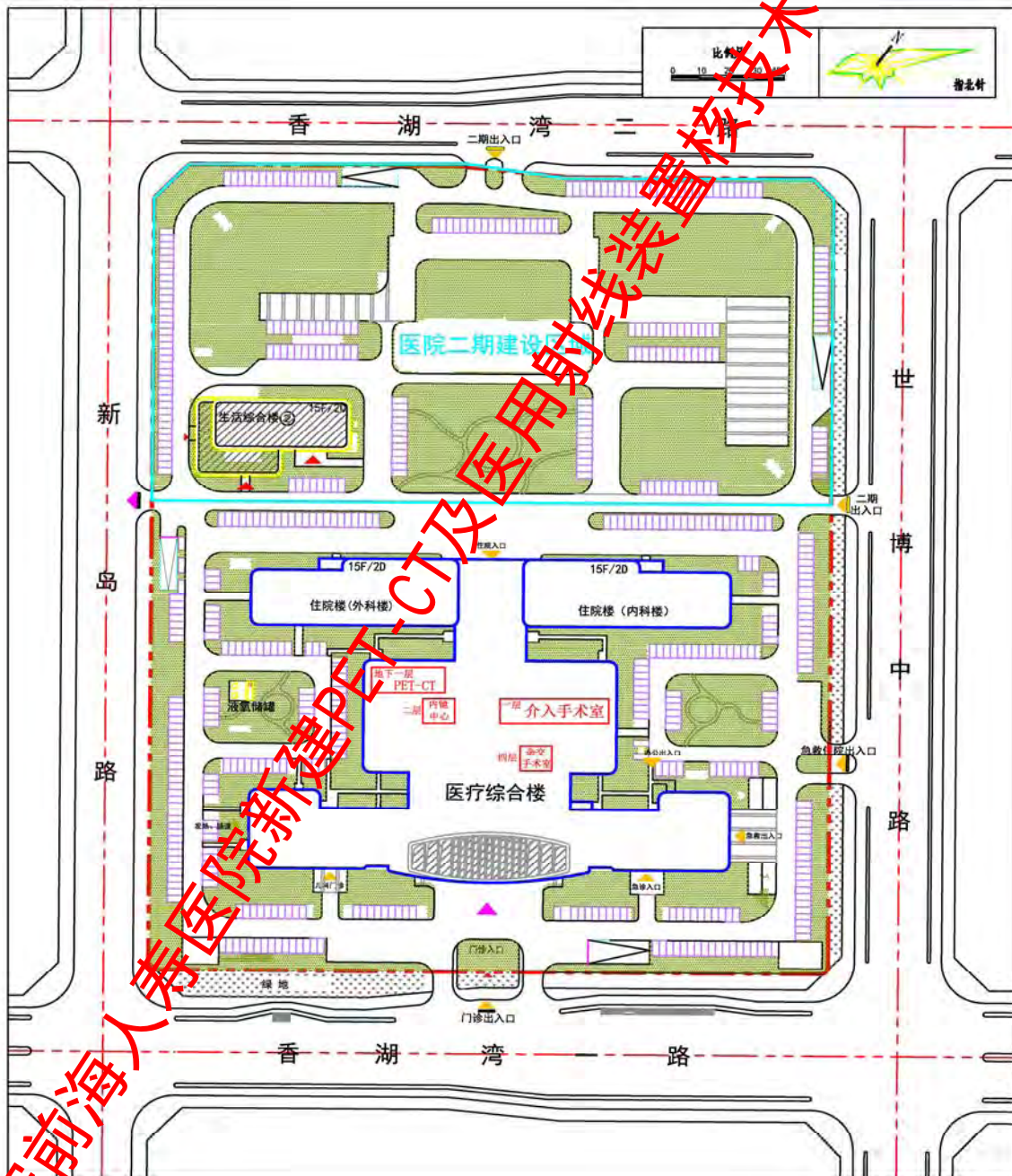


图 1-3 医院平面布置示意图

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律法规要求，西安前海人寿医院新建 PET-CT 及医用射线装置核技术利用项目应进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号）及其修改单中“五十、核与辐射”、“191、核技术利用建设项目”中“生产放射性同位素的（制备 PET 用放射性药物的除外）；使用 I 类放射源的（医疗使用的除外）；销售（含建造）、使用 I 类射线装置的；甲级非密封放射性物质工作场所”应编制环境影响报告书，“制备 PET 用放射性药物的；医疗使用 I 类放射源的；使用 II 类、III 类放射源的；生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）；在野外进行放射性同位素示踪试验的，应编制环境影响报告表”。

本项目使用 ^{18}F 为外购已分装针剂，根据《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 号文件和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 C 非密封源工作场所的分级，该项目使用放射性同位素 ^{18}F 日等效操作量见表 1-1。

表 1-1 核医学放射性同位素日等效操作量

核素名称	毒性组别/修正因子	操作方式/放射源状态修正因子	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	分级
^{18}F	低毒/0.01	很简单的操作/10	1.11×10^{10}	1.11×10^7	丙级 (豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$)

^{18}F 使用工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所，PET-CT 配套校验源 ^{68}Ge 属于 V 类密封放射源，DSA 和中 C（C 型臂 X 光机）为 II 类射线装置，PET-CT 中 CT 属于 III 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号）及其修改单，本项目应编制环境影响报告表。

为此，西安前海人寿医院有限公司于 2019 年 5 月委托我公司对该项目开展环境影响评价工作。接受委托后，我公司立即组织技术人员进行现场踏勘，收集、整理有关资料，对项目的建设等情况进行初步分析，并根据项目的应用类型及项目所在地周围区域的环境特征，在现场踏勘、资料调研、预测分析的基础上，按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）

的基本要求，编制了西安前海人寿医院有限公司《新建 PET-CT 及医用射线装置核技术利用项目环境影响报告表》。

四、项目规模

1、PET-CT

本次新建 PET-CT 位于医院综合楼地下一层（见附图 2），主要由护士站、诊室、储源室、注射室、候诊室、PET-CT 检查室、抢救室、留观室等组成（详见图 10-1）。

本项目计划配备 1 套 PET-CT 并使用放射性核素 ^{18}F 对患者进行诊疗，日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.70 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。PET-CT 中使用 CT 管电压为 140kV、管电流为 420mA，属于 III 类射线装置。PET-CT 设备中配套有 3 枚 ^{68}Ge 密封放射源，2 枚活度为 $4.625 \times 10^7 \text{Bq}$ （1.25mCi），1 枚活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ （2.5mCi），均属于 V 类密封放射源，主要用于对 PET-CT 设备的校准，从而确保诊断结果的准确性。

2、医用血管造影 X 射线摄线系统

本项目拟在综合楼一层介入手术室三个机房各安装 1 台 DSA（型号待定，管电压为 125kV、管电流为 1250mA），在二层内镜中心 ERCP 机房安装 1 台中 C（型号待定，管电压为 125kV、管电流为 1000mA），四层杂交手术室 DSA 机房安装 1 台 DSA（型号待定，管电压为 125kV、管电流为 1250mA）。本项目计划配备 4 台 DSA 和 1 台中 C 均属于 II 类射线装置。一层、二层、四层平面布置详见附图 3~附图 5。

五、评价目的

(1) 对医院配备 PET-CT 及配套使用放射性同位素药物 ^{18}F 和校验源 ^{68}Ge 、DSA 和 中 C 使用过程中产生的辐射环境影响进行预测分析，确保本项目放射性同位素和射线装置使用过程中对周围环境、人员产生辐射影响满足国家标准相关要求；

(2) 对放射性同位素和射线装置使用过程中对周围环境可能产生的不利影响和存在的问题提出防护措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

(3) 为医院辐射环境保护管理提供科学依据。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式及地点	备注
1	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ Bq/ 4.625×10 ⁷ Bq×2	V类	使用	PET-CT 校准	核医学科	PET-CT 设备内	/
2	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ Bq/ 9.25×10 ⁷ Bq×1	V类	使用	PET-CT 校准	核医学科	PET-CT 设备内	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式及地点
1	¹⁸ F	液态	使用	1.11×10 ⁹	1.11×10 ⁹	1.70×10 ¹²	PET 显像 诊断	很简 单 的 操 作	核医 学科 PET- CT 机 房	密封于 针管 内，暂 存于储 源室
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析仪等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	3 台	待定	125	1250	医用诊断	介入手术室	/
2	中 C	II	1 台	待定	125	1000	医用诊断	内镜中心	/
3	DSA	II	1 台	待定	125	1250	医用诊断	杂交手术室	/
4	PET-CT	III	1 台	待定	140	420	医用诊断	PET-CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子源，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 (mA)	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
废旧放射源	固体	⁶⁸ Ge	/	/	/	/	暂无	联系厂家回收处置
放射性废水（清洗废水、患者排泄物等）	液体	¹⁸ F	2.22×10 ⁸ Bq/天	10.8m ³	129.6 m ³	远低于 1Bq/L	暂无 排入专用衰变池内暂存，可以暂存 3 天以上，约 39 个半衰期以上	排入医院污水处理站处理，最终排入市政污水管网
放射性固体废物（针管、手套、滤芯等）	固体	¹⁸ F	2.22×10 ⁷ Bq/天	18kg	216kg	<1.65 Bq/g	暂无 （分类收集暂存于废物间，暂存 1 天，约 13 个半衰期以上）	作为一般医疗废物处理
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常期废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固态为 mg/kg，气态单位为 mg/kg；年排放总量用 t。
2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L，或 Bq/kg，或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订），2018 年 12 月 29 日；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》及其修改单，2018 年 4 月 28 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院 449 号令，2005 年 12 月 1 日实行，国务院令 653 号修订，2014 年 7 月 29 日；</p> <p>(7) 《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》，环保部第 3 号令，2008 年 12 月 6 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《放射源分类办法》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）；</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）</p> <p>(11) 《放射性物品分类和名录》（试行），国家环境保护总局公告 2010 年第 31 号，2010 年 3 月 4 日；</p> <p>(12) 《陕西省放射性污染防治条例》（2014 年 10 月 1 日）；</p> <p>(13) 《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的<陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表>的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）。</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则，核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；</p> <p>(4) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）；</p> <p>(5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(6) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）；</p> <p>(7) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）；</p> <p>(8) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）；</p> <p>(9) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T 180-2006）。</p>
其他	<p>(1) 西安前海人寿医院有限公司新建 PET-CT 及医用射线装置核技术利用项目环境影响评价委托书；2019 年 5 月；</p> <p>(2) 建设单位、设计单位提供的相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)中评价范围要求:“以项目实体边界为中心,放射性同位素生产项目(放射性药物生产除外)的评价范围半径不小于 3km;放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围,甲级取半径 500m 的范围,乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围,通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。

该项目属于丙级非密封放射性物质工作场所,同时使用 V 类放射源和 II 类射线装置,评价范围为放射性同位素和射线装置使用场所周围 50m 区域。该项目评价范围见图 7-1。

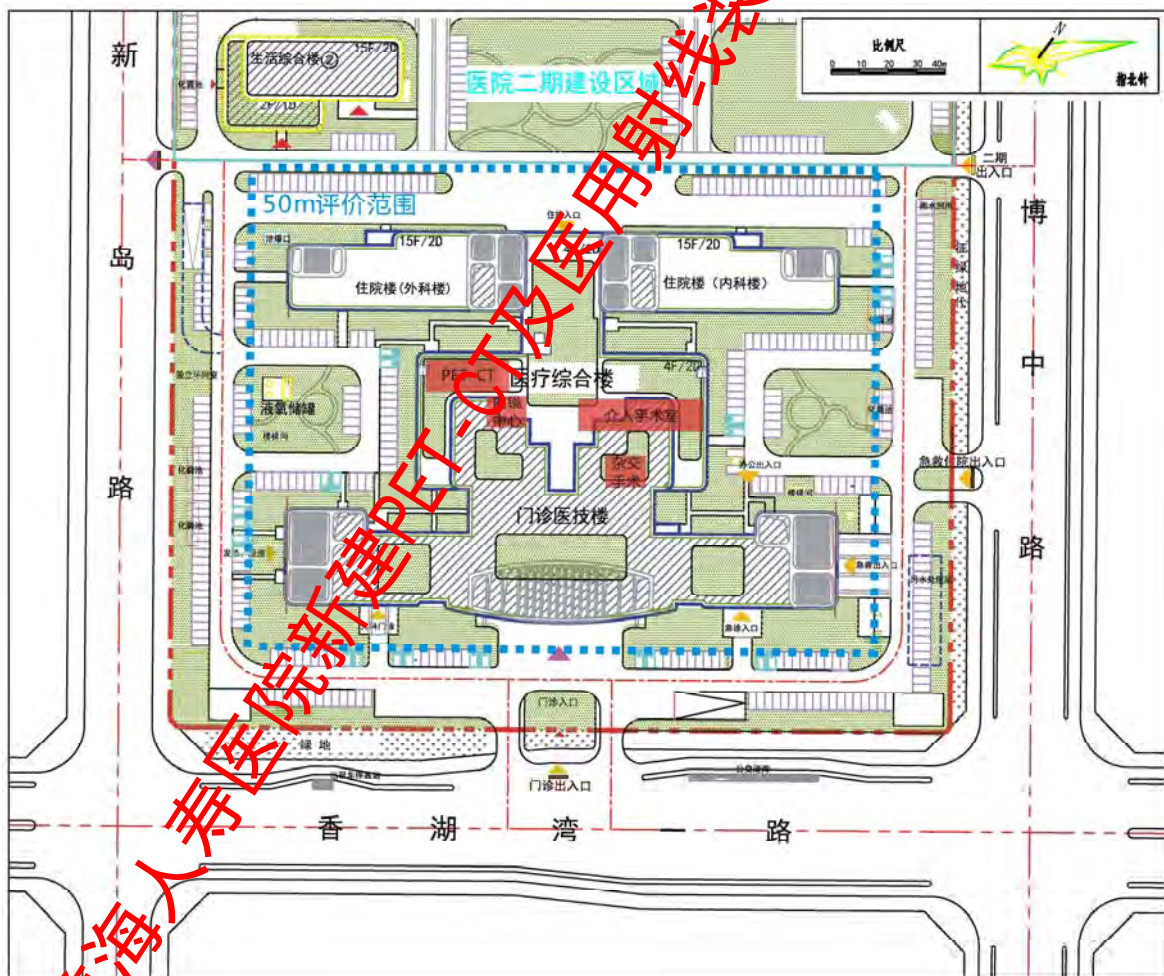


图 7-1 项目评价范围图

保护目标

本项目环境保护目标主要为从事 PET-CT、DSA、中 C 诊疗相关操作的工作人员、工作场所周围其他工作人员及公众。

本项目环境保护目标见表 7-1~7-4。

表 7-1 PET-CT 工作场所主要环境保护目标一览表

序号	活动场所	保护目标		相对位置关系		年有效剂量控制水平
		名称	规模 (人数)	方位	距离 (m)	
1	PET-CT 工作场所	注射工作人员	1~2	/	/	≤5mSv
		PET 检查 伺候人员	2~4	/	/	
		PET-CT 操作人员	2~4	/	/	
2	地下二层	车库流动人员	/	正下方	/	≤0.25mSv
3	综合楼 一层	影像中心工作人员、患者及家属等	/	正上方	/	≤0.25mSv
4	地下一层	车库流动人员	/	西侧、南侧	0~50	≤0.25mSv
		变电所工作人员	/	东侧	7~50	
		核医学其他工作人员、药房工作人员、医疗维修科工作人员	/	北侧	0~50	

表 7-2 一层 DSA 主要环境保护目标一览表

序号	活动场所	保护目标		相对位置关系		年有效剂量控制水平
		名称	规模 (人数)	方位	距离 (m)	
1	介入手术室	DSA 手术人员	3~6	/	/	≤5mSv
		DSA 操作人员	1~2	/	/	
2	综合楼一层	影像中心工作人员、患者及家属等	/	西侧	0~50	≤0.25mSv
		消毒中心、门诊、急诊工作人员、患者及家属	/	南侧	0~50	≤0.25mSv
		介入科、血液透析中心工作人员、患者及家属	/	北侧	0~50	≤0.25mSv

续表 7-2 一层 DSA 主要环境保护目标一览表

序号	活动场所	保护目标		相对位置关系		年有效剂量控制水平
		名称	规模 (人数)	方位	距离 (m)	
2	综合楼一层	综合楼外活动人员	/	东侧	6~50	$\leq 0.25\text{mSv}$
3	地下一层 变电所	变电所工作人员	/	正下方	/	$\leq 0.25\text{mSv}$
4	综合楼二层 心电功能检查中心	心电功能检查中心 工作人员	/	正上方		$\leq 0.25\text{mSv}$

表 7-3 二层中 C 主要环境保护目标一览表

序号	活动场所	保护目标		相对位置关系		年有效剂量控制水平
		名称	规模 (人数)	方位	距离 (m)	
1	内镜中心	中 C 手术人员	1~2	/	/	$\leq 5\text{mSv}$
		中 C 操作人员	1~2	/	/	
2	综合楼 二层	内镜中心工作人员、患者及家属	/	西侧	0~24	$\leq 0.25\text{mSv}$
		综合楼外活动人员	/	西侧	24~50	
		超声科、妇科工作人员、患者及家属	/	南侧	0~50	
		心电功能检查工作人员、患者及家属	/	东侧	0~50	
		内镜中心、产科工作人员、患者及家属	/	北侧	0~50	
3	综合楼一层影像中心	影像中心 DR、MRI 工作人员及患者	/	正下方	/	$\leq 0.25\text{mSv}$
4	综合楼三层信息中心	信息中心工作人员	/	正上方	/	$\leq 0.25\text{mSv}$

表 7-4 四层 DSA 主要环境保护目标一览表

序号	活动场所	保护目标		相对位置关系		年有效剂量控制水平
		名称	规模 (人数)	方位	距离 (m)	
1	杂交手术室	DSA 手术人员	1~2	/	/	$\leq 5\text{mSv}$
		DSA 操作人员	1~2	/	/	

续表 7-4 四层 DSA 主要环境保护目标一览表

序号	活动场所	保护目标		相对位置关系		年有效剂量控制水平
		名称	规模(人数)	方位	距离(m)	
2	综合楼 四层	中心手术部工作人员、患者及家属	/	西侧	0~50	≤0.25mSv
		中心手术部、ICU 工作人员、患者及家属	/	北侧	0~50	
		中心手术部工作人员、患者及家属	/	东侧	0~25	
		预防保健科、康复科工作人员、患者及家属	/	南侧	0~50	
3	综合楼三层 日间手术科	日间手术科工作人员	/	正下方	/	≤0.25mSv
4	综合楼 五层净化机房	净化机房工作人员	/	正上方	/	≤0.25mSv

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

附录 B 剂量限值 and 表面污染控制水平：

B1.1.1.1 条规定：应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv（本项目取其四分之一即 5mSv 作为职业工作人员的年剂量约束限值）

B1.2.1 规定：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估算值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv（本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为公众人员的年剂量约束限值）

表 7-5 工作场所的放射性表面污染控制水平单位：Bq/cm²

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

(1) 该区内的高污染子区除外。

应按表 7-6 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-6 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

表 7-7 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	0.01
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

2、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)

本标准适用于放射性同位素生产和应用中操作非密封源的实验室活动；其他操作非密封源的活动可参照使用。

(1) 安全操作

在辐射工作场所的醒目位置悬挂（张贴）辐射警告标志，应制定严格的辐射防护规程和操作程序。

操作非密封源的单位应设立相应的安全与防护机构（或专、兼职安全与防护人员），并用文件的形式明确规定其职责。

应建立安全与防护培训制度，培植和保持工作人员良好的安全文化素养，自觉遵守规章制度，掌握辐射防护基本原则、防护基本知识及辐射防护技能。

辐射工作人员对某些操作程序必要时应先进行模拟试验，当熟练掌握操作技能后方可正式开展工作。如在操作过程中发现异常情况，应及时报告，并分析原因，采取措施，防止重复发生类似事件。

应定期检查工作场所各项防护与安全措施的有效性，针对不安全因素制定相应的补救措施，并认真落实，确保工作场所处在良好的运行状态。

在原有设施条件下开展新工作（包括工艺流程的重大改变和提高放射性核素日等

效最大操作量), 如果计划操作的放射性核素种类、操作量、操作方式以及防护设施和设备的要求超出原设计规范, 应事先向主管部门提交防护与安全分析报告, 经主管部门审查批准后方可进行。

非密封源的操作应根据所操作放射性物质的量和特性, 选择符合安全与防护要求的条件, 尽可能在通风柜、工作箱或手套箱内进行。有可能造成污染的操作步骤, 应在铺有塑料或不锈钢等易去除污染的工作台面上或搪瓷盘内进行。

操作中使用的容器, 必要时应在其外面加一个能足以容纳其全部放射性溶液的不易破裂的套桶。

在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

(2) 辐射防护监测

操作非密封源的单位应具备相应的辐射防护监测能力, 配备合格的辐射防护人员及相关的设备, 制定相应的辐射监测计划。应记录和保存辐射监测数据, 建立档案。记录监测结果时应同时记录测量条件、测量方法和测量仪器、测量时间和测量人姓名等。

操作非密封源的辐射工作人员的个人剂量监测应遵循 GB 18871-2002 的要求, 进行个人外照射监测。

个人剂量档案应妥善保存, 保存时间应不少于个人停止放射工作后 30 年。

(3) 放射性废物管理

放射性废物的管理应遵循 GB 18871-2002、GB 14500 的相关规定, 进行优化管理。

应从源头控制、减少放射性废物的产生, 防止污染扩散。应分类收储废物, 采取有效方法尽可能进行减容或再利用, 努力实现废物最小化。

应做好废物的产生、处理、处置(包括排放)的记录, 建档保存。

产生放射性固体废物较多的单位应当建立固体废物暂存库, 确保储存的废物可回取。对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法, 待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理, 以尽可能减少放射性废物的数量。

(4) 事故预防和应急

应采取适当的防护与安全措施, 尽可能减少或防止由于人为错误或其他原因导致的事故和事件, 并有效减轻事故和事件的后果。

操作非密封源的单位，应当分析可能发生的事故和风险，制定相应的应急预案做好应急准备，并报审管部门备案。

发生事故（事件）后，应按照报告程序及时向审管部门报告。不缓报、瞒报、谎报或漏报。对于因事故受到伤害的人员，应配合医疗单位进行应急救援和治疗。

(5) 非密封放射源的管理

操作非密封源的单位应配备专（兼）职人员负责放射性物质的管理，应建立非密封放射源的账目（如交收账、库存帐、消耗帐），并建立登记保管、领用、注销和定期检查制度。

非密封源应存放在具有防火、防盗等安全防范措施的专用贮存场所妥善保管，不得将其与易燃、易爆及其他危险物品放在一起。

辐射工作场所贮存的非密封放射源数量应符合防护安全的要求，对于不使用的非密封放射源应及时贮存在专用贮存场所。非密封放射源容器外应贴有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起始时间和存放负责人等）。

3、《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）

本标准适用于临床核医学应用放射性药物施行诊断与治疗的实践。

(1) 临床核医学工作场所的放射防护要求

临床核医学的工作场所应按照 GB 18871 非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应放射防护措施。

合成和操作放射性药物所用的通风橱工作中应有足够的风速，排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。

临床核医学诊断及治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且应避免无关人员通过。

临床核医学诊断用给药室和检查室应分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。

临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。

(2) 放射性药物操作的一般放射防护要求

操作放射性药物应有专门场所，如给药不在专门场所进行时则需采取适当防护措施。放射性药物使用前应有恰当屏蔽。

装有放射性药物的给药注射器应有适当屏蔽。难以屏蔽时应注意控制操作时间。

操作放射性药物应在衬有吸水纸的托盘内进行，工作人员应穿戴个人防护用品。

操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风橱内进行。

在放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。

工作人员操作后离开放射性工作室前应洗手和进行表面污染监测，如其污染水平超过 GB 18871 规定值，应采取相应去污措施。

从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过 GB 18871 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

为体外放射免疫分析目的而使用含 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{125}I 等核素的放射免疫分析试剂盒可在一般化学实验室进行。

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，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分。

放射性物质的贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不得入内。

贮存和运输放射性物质时均应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的放射防护措施。

贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度等。

4、《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009)

本标准适用于医学实践中所产生的含有放射性核素或被放射性核素所污染且不再利用的废弃物即医用放射性废物的管理。

(1) 液体废物的管理

使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 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，应有防泄漏措施。

(2) 固体废物的管理

放射性废物按分类分开收集。供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

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，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后装入专用塑料袋内。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg 。

产生少量放射性废物的非密封型放射性核素应用单位，经主管部门批准可以将其废物临时贮存在许可的场所和专门容器中。

贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求，且具有自然通风或安装通风设备，出入口设电离辐射警示标志。

废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等信息。

(3) 气载废物的管理

操作放射性碘化物等具有挥发性的放射性物质时，应在备有活性炭过滤或其他专用过滤装置的通风橱内进行。

(4) 废物管理制度

医疗机构应配备有专（或兼）职人员负责管理废物的分类收集、存放和处理。应具有预防发生废物丢失、被盗、容器破损或灾害事故的安全措施。贮存室的显著位置应设电离辐射警示标志，并建立废物档案和出入贮存库登记与双人双锁管理制度。设废物贮存登记卡，废物主要特性和处理过程应记录在卡片上，并存档备案。

标准附录 B 常见医用放射性核素的清洁解控水平推荐值

根据 GB 18911-2002 中 4.2.5.2 的原则，将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据，由此得出医用常用放射性核素的清洁解控水平推荐值，列于表 7-8 中。

表 7-8 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核 素
1×10^6	^3H
1×10^5	^{35}S

续表 7-8 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

1×10^4	^{14}C
1×10^3	^{32}P 、 ^{151}Cr 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{113}Sn 、 ^{125}I 、 ^{133}Xe
1×10^2	^{15}O 、 ^{90}Sr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{113}In 、 ^{131}I 、 ^{198}Au 、 ^{203}Hg 、 ^{201}Tl
1×10^1	^{18}F 、 ^{59}Fe

5、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

(1) 污水排放要求：县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构的其他医疗机构污水排放执行表 7-9 的规定。直接或间接排入地表水体或海域的污水执行排放标准，排污终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7-9 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

控制项目		排放限值	预处理标准
总 β	Bq/L	10	10

(2) 环评要求废水排放标准：医院的放射性废水（含放射性核素的清洗废水和病员的排泄物）先经衰变池存放 10 个半衰期以上，排入医院污水处理站处理，最终排入市政污水管网。医院污水处理站排放口废水执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）的预处理标准，即总 β 放射性 $< 10\text{Bq/L}$ 。

6、《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）

本标准适用于医用诊断放射学、牙科放射学和介入放射学实践。

X 射线设备机房防护设施的技术要求：X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全；每台 X 射线机（不含移动式 and 便携式床旁摄影机和车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-10 要求。

表 7-10 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度
CT 机	30m^2	4.5m
双管头或多管头 X 射线机 ⁽¹⁾	30m^2	4.5m
单管头 X 射线机 ⁽²⁾	20m^2	3.5m
.....

(1) 双管头或多管头 X 射线机的所有管球安装在同一间机房内。

(2) 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

- a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-11 要求。
- b) 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见标准附录 D。

表 7-11 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量	非有用线束方向铅当量
.....
介入 X 射线设备机房	2mm	2mm
CT 机房	2（一般工作量）* 2.5（较大工作量）*	
*按 GBZ/T180 的要求		

c) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线机在透视条件下监测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

b) CT 机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv 。

机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态。

机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的物品；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房门能有效联动。

患者和受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-12 基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检

者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

表 7-12 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
.....
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护屏、床侧防护帘 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—

注：“—”表示不要求。

7、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T 180-2006）

本标准适用于医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽。

(1) 不同工作量的机房一般屏蔽要求

CT 扫描以扫描厚度 10mm、每层扫描 250mAs 为参考扫描条件的周归一化工作负荷（W）区分如下：

一般工作量	120kVp	W < 5000 层/周
	140kVp	W < 2500 层/周
较大工作量	120kVp	W ≥ 5000 层/周
	140kVp	W ≥ 2500 层/周

(2) CT 机房一般屏蔽要求如下：

一般工作量下的机房屏蔽：16cm 混凝土（密度 2.35t/m³）或 24cm 砖（密度 1.65t/m³）或 2mm 铅当量。

较大工作量时的机房屏蔽：20cm 混凝土（密度 2.35t/m³）或 37cm 砖（密度 1.65t/m³）或 2.5mm 铅当量。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

西安前海人寿医院建设地位于西安市浐灞生态区香湖湾二路以南、世博中路以西、新岛路以东、香湖湾一路以北。PET-CT 工作场所位于综合楼地下一层核医学科，4 台 DSA 中 3 台计划安装于一层介入手术室专用机房内、1 台计划安装于四层杂交手术室专用机房内，1 台中 C 计划安装于二层内镜中心 ERCP 机房内。

二、环境质量现状

根据陕西省生态环境厅发布 2019 年一季度环境质量状况，一季度我省辐射环境自动监测站监测结果为 (71.6~105.4) nGy/h，陆地累积剂量监测点空气吸收剂量率为 (73.5~117.3) nGy/h。

参照《陕西省环境伽马辐射剂量水平现状研究》1988 年报告中“西安市原野 γ 辐射剂量率为 (50~117) nGy/h、道路 γ 辐射剂量率为 (52~121) nGy/h，室内 γ 辐射剂量率为 (79~130) nGy/h”，可见西安前海人寿医院该项目拟建地的辐射环境本底值处于正常水平，辐射环境现状良好。

表 9 项目工程分析及源项

工程设备和工艺分析

一、PET-CT 工作场所

1、工作原理

(1) PET-CT 成像的物理基础

① 正电子衰变：PET 检查的物理基础是正电子核素药物，目前该药物是通过医院回旋加速器制备正电子核素，并通过一定的化学反应标记到相关的化学物质上而得。正电子在富含电子的组织内存在的时间很短，会通过非弹性碰撞迅速的失去它的动能，在组织内移行的距离很短，依据能量的不同正电子运动距离一般在 $10^{-1}\text{cm}\sim 10^{-2}\text{cm}$ 的范围内。

② 湮灭反应：正电子在自然界中不能长时间独立存在，会很快与核外电子结合发生湮灭反应，同时释放出两个能量均为 0.511MeV、方向相反的光子。PET-CT 利用探测器来探测这两个光子来实现图像的重构，如图 9-1 所示。

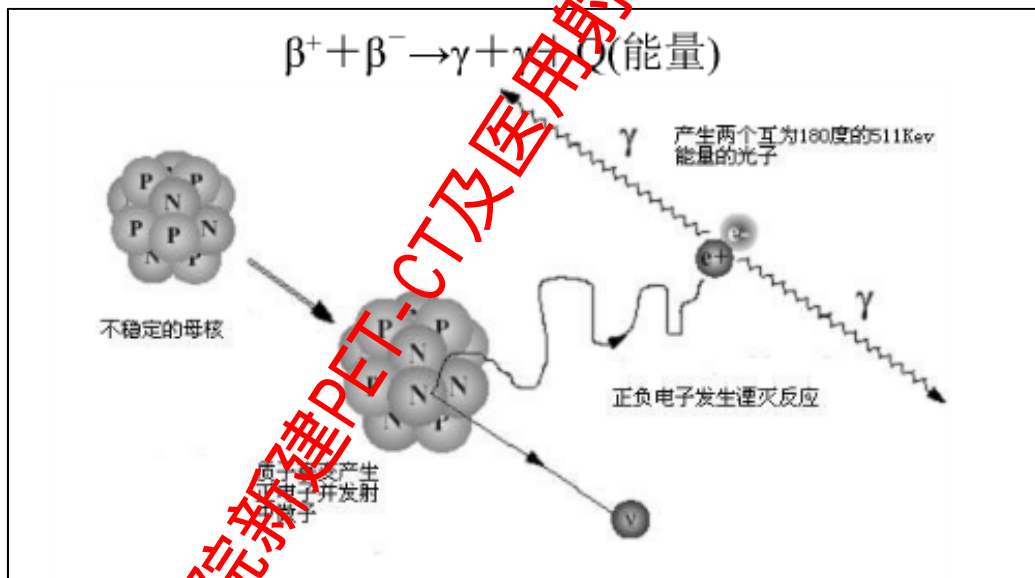


图 9-1 正电子发射及其湮灭示意图

(2) PET-CT 的显像原理

PET (正电子发射断层显像仪) 显像的原理是把微量正电子示踪剂注射到人体内，利用 PET 探测这些正电子核素在体内的分布情况，经计算机重建断层图像，从而反映组织器官的生理代谢情况和早期病理变化。但 PET 显像空间分辨率较低，难以精确定位；CT 通过 X 线断层成像获得精确的躯体解剖图像，其分辨率高、定位准确，但只有当疾病发生到“形态改变”这一阶段才能被发现，因此不能达到“早期诊断”

的目的。PET-CT 将 PET 和 CT 有机地结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将 PET 图像和 CT 图像融合，同时具有 PET 和 CT 的功能，在清晰地显示肌体生物代谢过程的同时，对病灶精确定位，集 PET 的特异性强、灵敏度高及 CT 分辨率高、解剖清晰之优点，可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构，明显提高了诊断的准确性。

在临床中，当由正电子放射性核素所标记的示踪剂（显像剂）注入血流后，到达全身，聚集在特定的器官或某一部位，通过环形排列的多排探头，采用符合探测技术，探测并记录正电子湮灭释放出的光子对的时间、位置数量及方向，信息经计算机贮存，再通过影像重建原理获得人体各部位横断、冠状断面和矢状断面影像。PET-CT 集 PET 的特异性强、灵敏度高及 CT 分辨率高、解剖清晰之优点，是功能影像学和解剖影像学的完美结合。

PET-CT 一般选用放射性核素 ^{18}F -FDG（氟代脱氧葡萄糖）作为示踪剂，这种类型的葡萄糖与普通葡萄糖化学性质相似，可在人体中产生有标记的代谢物，并且在人体中存留时间较长，便于测量。

(3) PET-CT 衰减校正

为保证 PET-CT 检测数据的可靠性，需定期对 PET-CT 进行衰减校正，选择在无患者时使用 ^{68}Ge 密封源进行衰减校正。 ^{68}Ge 校验源暂存于 PET-CT 屏蔽体内。校验时 PET-CT 机房内无人员停留，机房防护门关闭，工作人员在控制室内对 PET-CT 进行操作，校验源屏蔽体打开，由 PET-CT 设备采集相关数据并完成校验工作，校验完成后校验源屏蔽体关闭。

2、操作流程及产污环节

(1) PET-CT 整体工艺及操作流程如下：

- ① 根据患者预约情况，预定所需放射性药物及其活度；
- ② 生产药物单位按照要求在规定时间内将已分装好的针剂运送到指定地点，暂存于储源室中；
- ③ 预约患者按预约时间在注射室进行注射药物（静推给药）；
- ④ 注射药物后患者在注射后候诊室候诊（约 30min）；
- ⑤ 患者进入 PET-CT 机房，摆位后进行扫描诊断；
- ⑥ 图像后处理；

⑦ 扫描完成后，在留观室留观一段时间（10~30min），无不良反应后由病人专用出口离开。

(2) 产污环节：

① γ 射线： ^{18}F 为正电子核素，其衰变产生正电子与负电子发生湮灭，产生一对方向相反、能量均为 0.511MeV 的 γ 射线。由于 γ 射线具有较强的穿透性， ^{18}F 药物在暂存、注射过程对其周围环境和人员产生一定辐射影响； ^{18}F 药物注射进入患者体内后， ^{18}F 衰变过程中产生的 γ 射线造成患者周围辐射水平升高，患者在候诊、检查过程中，部分 γ 射线穿透候诊室、PET-CT 室屏蔽体对屏蔽体外活动人员产生一定辐射影响。

② β 表面污染：由于 ^{18}F 药物为液体药物，药物在存取、注射过程中撒漏造成工作场所的 β 表面污染；患者注射药物后，其分泌汗液、排泄物等可能造成候诊、检查工作场所的 β 表面污染。

③ 放射性废物：注射药物后产生的注射器、棉签、手套等；患者候诊期间产生的排泄物等；工作人员清洗、工作场所拖洗产生的废水。

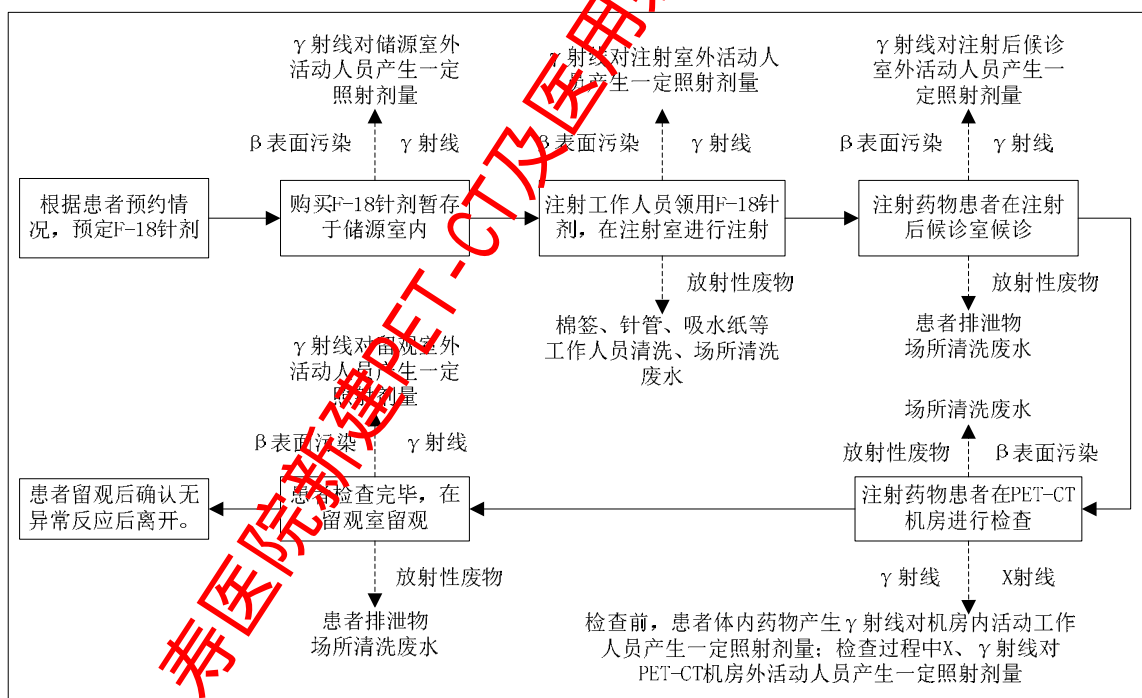


图 9-2 PET-CT 操作流程及产污环节图

二、医用血管造影 X 射线摄线系统

1. 工作原理

DSA（Digital Substraction Angiography）、中 C（C 型臂 X 光机）均属于医用血管

造影 X 射线摄线系统。医用血管造影 X 射线摄线系统是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来，且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示。由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影系统处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

2、设备组成

医用血管造影 X 射线摄线系统包括 X 线发生器、影像增强器、高分辨力摄像管、模/数转换器、电子计算机和图像储存器等，典型设备组成结构见图 9-3。

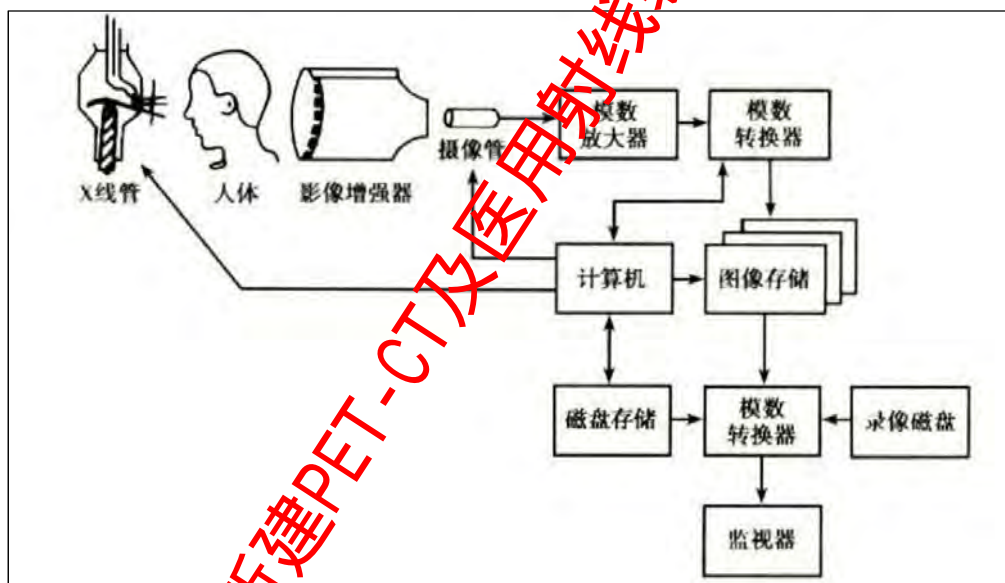


图 9-3 医用血管造影 X 射线摄线系统典型设备组成结构

3、操作流程

医用血管造影 X 射线摄线系统诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

医用血管造影 X 射线摄线系统在进行曝光时分为两种情况：采集、透视。采集主要用于获取并显示患者血管图像；透视主要用于对医生操作过程中插入导管进行导

引，以顺利送达预定位置。

4、工作产污环节

医用血管造影 X 射线摄线系统工作时项目污染因子为 X 射线管产生的 X 射线。X 射线电离空气产生少量的臭氧和氮氧化物。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，无需洗片操作，不会产生废显影液、废定影液。

(1) 本项目医用血管造影 X 射线摄线系统工作时产生的 X 射线穿透机房的屏蔽体（墙、防护门、观察窗）造成机房周围辐射水平升高，对机房周围工作人员、公众产生一定辐射影响；

(2) 在透视过程中，对机房内操作的医护人员产生一定辐射影响。

医用血管造影 X 射线摄线系统诊治流程及产污环节见图 9-4。

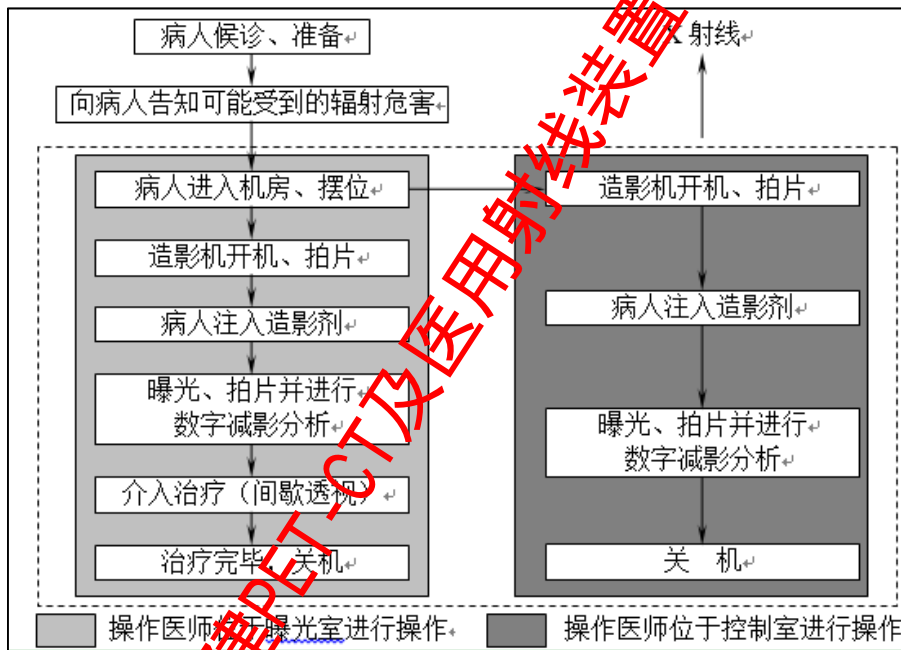


图 9-4 医用血管造影 X 射线摄线系统工作流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、PET-CT 工作场所

本项目使用放射性核素 ^{18}F ，其半衰期为 109.7min。放射性核素 ^{18}F 年使用量为 $1.70 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，患者单次使用 ^{18}F 药物活度最大为 $5.55 \times 10^8\text{Bq}$ ，每天接诊患者 15~20 人，年接诊患者约 3000 人。

PET-CT 设备配有 3 枚锗-68 (^{68}Ge) V 类密封校验源， ^{68}Ge 半衰期为 270.93d，衰变方式为 EC (100%)，衰变主要产生 9.3keV 的 X 射线。校验源中 2 枚活度为 $4.625 \times 10^7\text{Bq}$ (1.25mCi)，1 枚活度为 $9.25 \times 10^7\text{Bq}$ (2.5mCi)。

1、污染因子

本项目 PET-CT 诊断时使用的放射性核素为 ^{18}F 。 ^{18}F 放射性药物衰变过程中产生的 γ 射线， ^{18}F 放射性药物使用过程中产生的 β 表面污染，CT 扫描时产生的 X 射线， ^{68}Ge 储存和使用过程中 ^{68}Ge 衰变产生的 X 射线。该项目使用过程中还产生一定的放射性废物。

2、污染源项核算

(1) X、 γ 射线

^{18}F 药物在暂存、注射过程中，注射 ^{18}F 药物患者候诊和检查期间， ^{18}F 衰变产生 γ 射线造成其周围环境辐射水平升高，人员在此区域活动时受到一定的照射剂量。

校准源 ^{68}Ge 储存和使用过程中产生的 X 射线，对周围环境产生一定的辐射影响。

PET-CT 开机扫描时 CT 产生的 X 射线，X 射线穿过机房的屏蔽体造成机房周围环境辐射水平升高，人员在此区域活动时受到一定的照射剂量。

(2) 表面污染

该项目使用 ^{18}F 药物为购买已分装针剂，药物使用过程中均处于封闭状态。可能造成表面污染情况主要为：注射过程液态药物撒漏，造成场所台面、地面污染；注射药物后患者的体液、排泄物对沾染场所的污染等。

(3) 放射性废水

PET-CT 工作场所产生的放射性废水主要为工作人员清洗、工作场所清洗时可能会有带有微量放射性的废水和受检者的排泄物等。

PET-CT 显像检查每天最多为 20 人（次），全年约 3000 人（次）。保守按每检查 1 人（次）产生废水平均量 10L 估算（主要为患者排泄及冲洗水等），工作人员和工作场所清洗每天产生废水量约 700L，则 PET-CT 每天产生废水量为 0.9m^3 。含 ^{18}F 废水通过专用卫生间进入衰变池，放射性衰变池为三级衰变池，每级容积为 6m^3 ，计划建在综合楼地下 4 层（留观室下方）位置，详见附图 1。

单个衰变池核素最大排入量按诊疗流程考虑，其中使用 ^{18}F 等放射性核素的患者需要等候、扫描等操作，在核医学区域停留时间较长且需要上厕所，保守按核素使用量的 20% ($2.22 \times 10^8 \text{Bq}$) 排入衰变池考虑，本项目三级衰变池为串联式，衰变池存满后自动转存至下一级衰变池，经三级衰变池暂存衰变后（累计暂存 3 天以上，即 39 个半衰期以上），废液浓度远低于 1Bq/L 。可以满足《医疗机构水污染物排放标准》

(GB18466-2005) β 活度小于 10Bq/L。

(4) 固体废物

① 放射性固体废物

PET-CT 场所产生放射性固体废物主要为注射器、棉签、注射台上的吸水纸、口罩、乳胶手套等。每日产生约 1.5kg，全年产生约 216kg，分类收集后暂存于废物间。按核素使用量的 1% ($2.22 \times 10^7 \text{Bq}$) 沾附于固体废物上考虑，暂存 24h (约 13 个半衰期) 后，放射性固体废物比活度为 1.65Bq/g，低于《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009) 中附录 B 常见医用放射性核素的清洁解控水平推荐值，可以作为一般医疗废物处理。

② 废旧放射源

校准源为 V 类放射源，放射源不再使用或活度无能满足校准要求时，产生废旧放射源。产生废旧放射源后由厂家回收处置。

(5) 废气

该项目使用 ^{18}F 药物为购买已分装针剂，使用前药物封装于注射器内，药物使用采用注射方式直接注入患者体内， ^{18}F 药物的操作均在封闭下进行，正常使用情况下该项目基本不产生放射性废气。由于操作失误等其他原因造成放射性药物包装体破损，可能导致液态药物暴露于空气中，可能产生少量的放射性气体。 ^{18}F 药物使用场所均计划按照通风设施，产生的放射性气体进入通风设施，经过滤装置过滤后由楼顶排放口排放，对环境影响甚微。

使用 PET-CT 中 CT 诊断时产生的 X 射线会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，机房内安装通风装置将臭氧和氮氧化物抽入通风管道内，由楼顶排放口排放，经大气扩散稀释后对环境影响甚微。

二、医用血管造影 X 射线摄线系统

医用血管造影 X 射线摄线系统工作过程中不产生放射性“三废”，其主要污染因子为设备运行中产生 X 射线和 X 射线电离空气产生的少量臭氧和氮氧化物。

1、放射性污染

本项目医用血管造影 X 射线摄线系统为 II 类射线装置，医用血管造影 X 射线摄线系统在开机状态下主要污染物为 X 射线，关机即消失。开机时发出 X 射线，X 射线穿透机房的屏蔽墙进入外环境，对控制室职业人员及机房周围公众人员产生外照射

影响；在介入手术过程中，对机房内操作的医护人员造成较高剂量的外照射。

2、废气

医用血管造影 X 射线摄线系统在工作过程中产生 X 射线会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经通风设施外排，对环境影响甚微。

西安前海人寿医院新建PET-CT及医用射线装置核技术利用项目公示版

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局

本项目涉及 PET-CT、医用血管造影 X 射线摄影系统工作场所平面布置图见图 10-1~图 10-4，工作场所剖面图见图 10-5~图 10-9。



图 10-1 地下一层 PET-CT 工作场所平面布置图

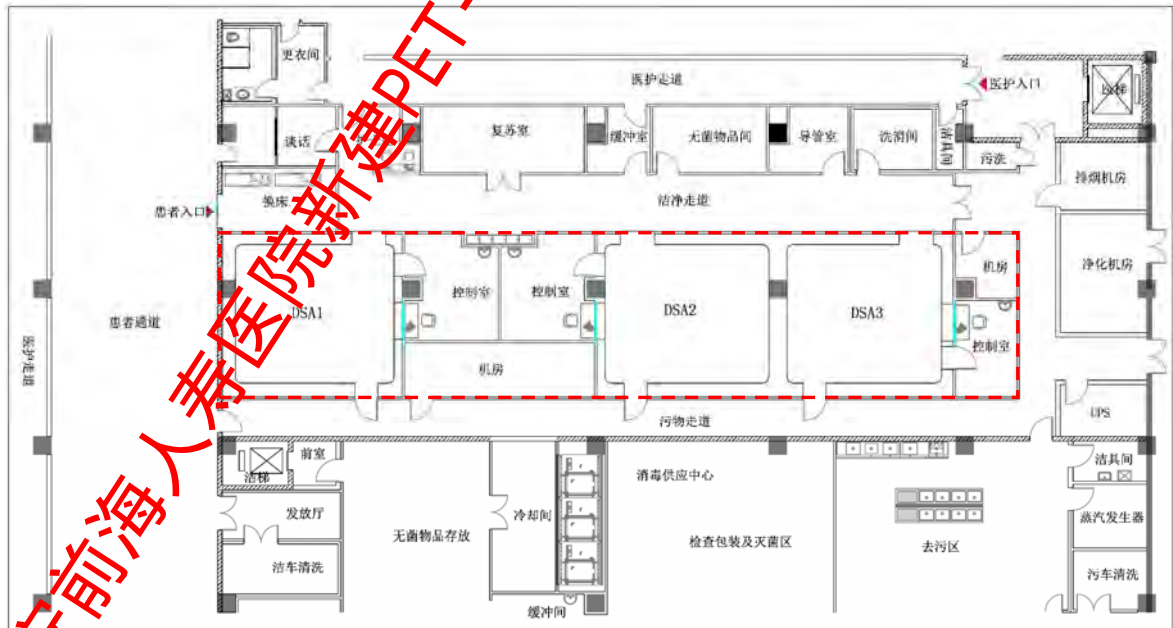


图 10-2 一层 DSA 工作场所平面布置图

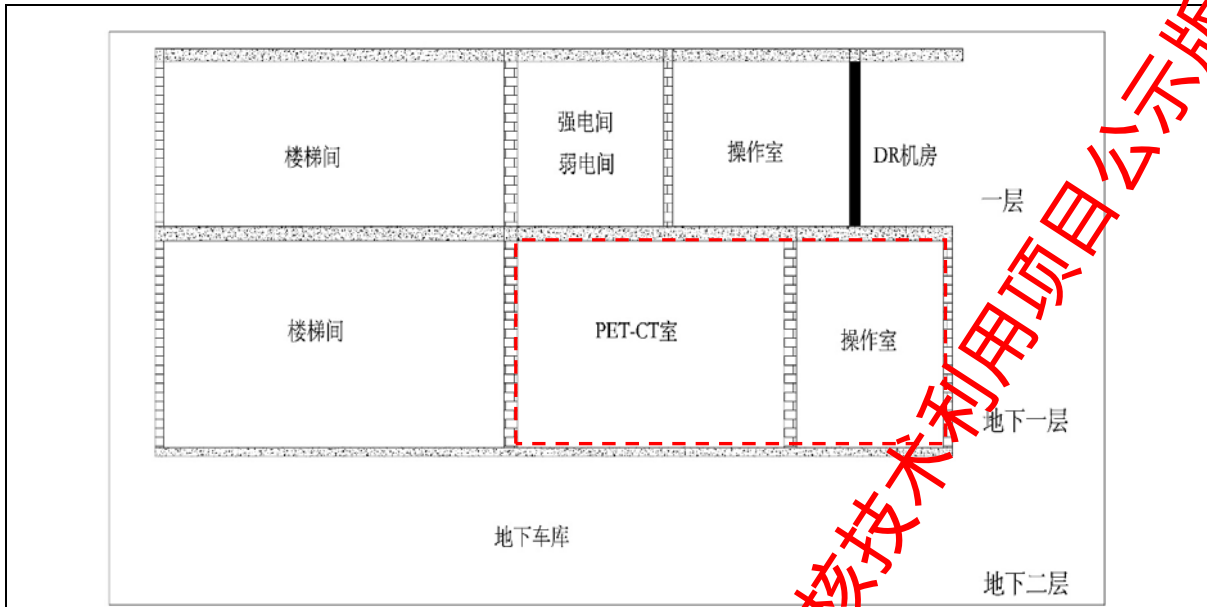


图 10-5 地下一层 PET-CT 工作场所剖面图

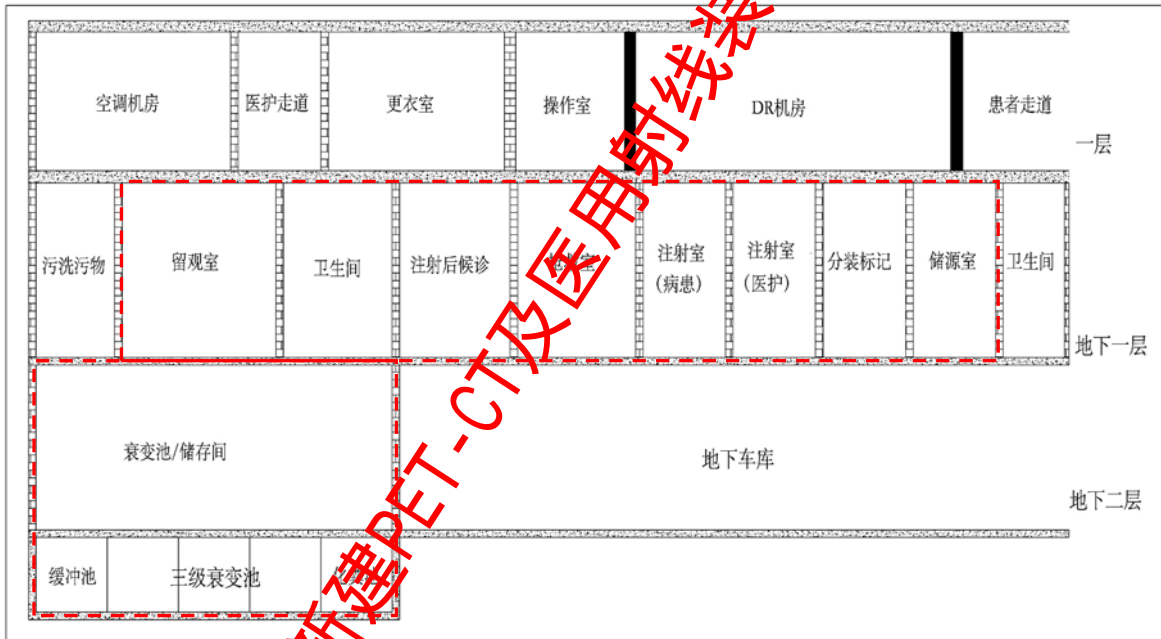


图 10-6 地下一层 ¹⁸F 注射、候诊工作场所剖面图

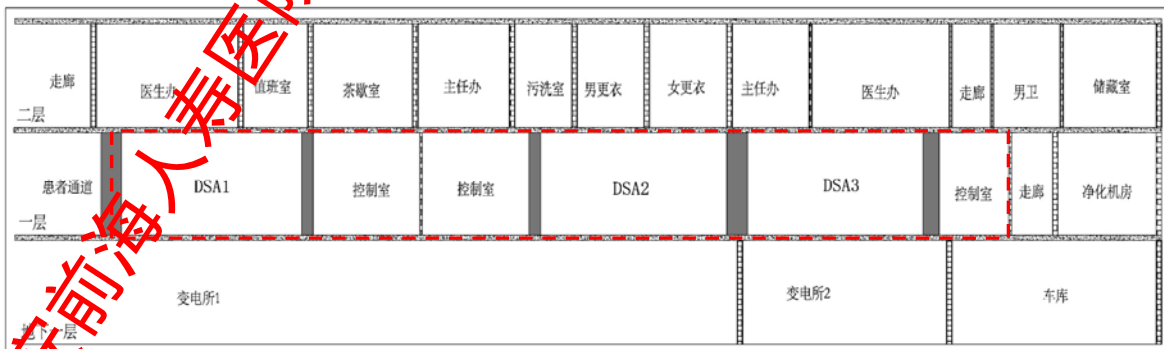


图 10-7 一层 DSA 工作场所剖面图

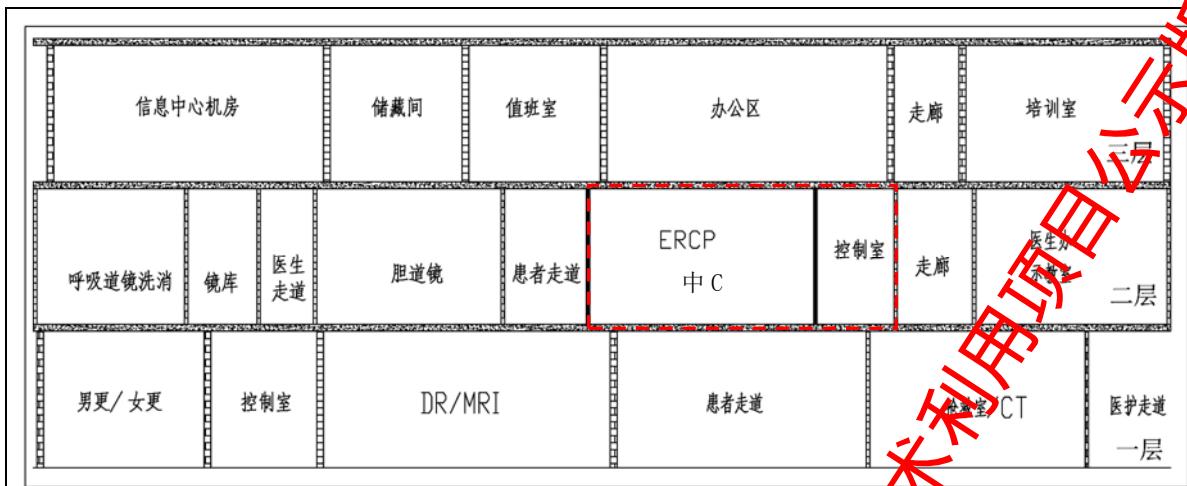


图 10-8 二层内镜中心中 C 工作场所剖面图

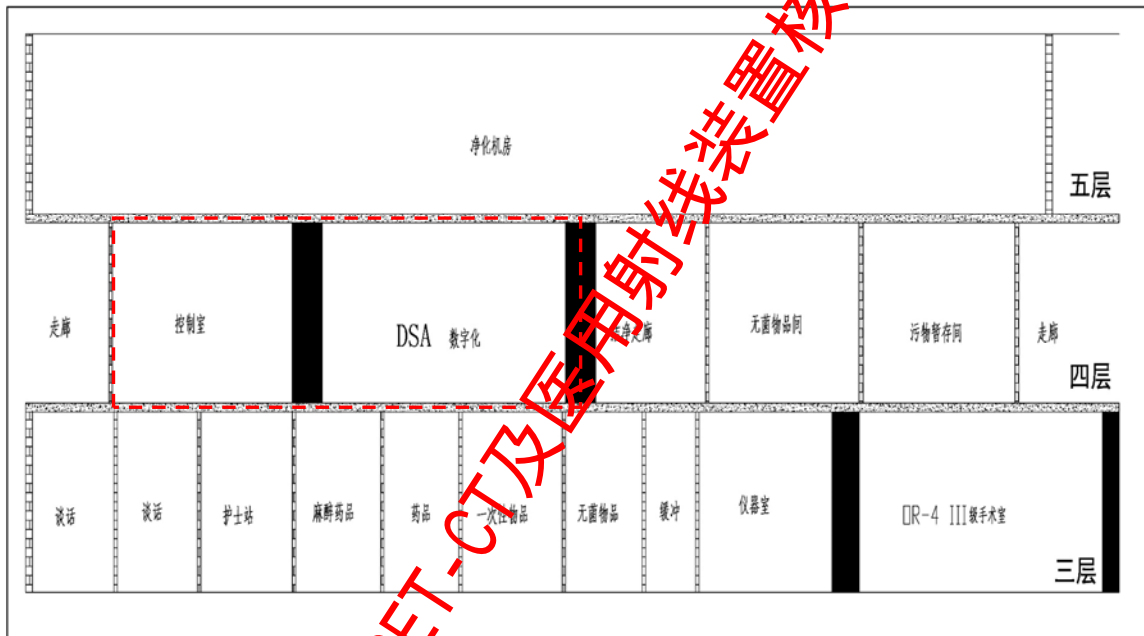


图 10-9 四层杂交手术室 DSA 工作场所剖面图

二、工作场所区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区: 为辐射工作场所划分的一种区域, 在这种区域内要求或可能要求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展, 防止潜在照射或限制其程度。

监督区: 未被确定为控制区、通常不需采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。

本项目涉及 PET-CT、医用血管造影 X 射线摄线系统工作场所分区示意图见图

10-10~图 10-13, PET-CT 工作场所物流人流路径和通风示意图见图 10-14~图 10-15

表 10-1 工作场所分区表

序号	区域	控制区	监督区
1	PET-CT	储源室、分装标记室、注射室、注射后候诊室、卫生间、PET-CT 机房、留观室、抢救室、废物间等	PET-CT 控制室、走廊、更衣缓冲间等。
2	医用血管造影 X 射线摄线系统	DSA 机房、中 C 机房	控制室、相邻房间和走廊等。

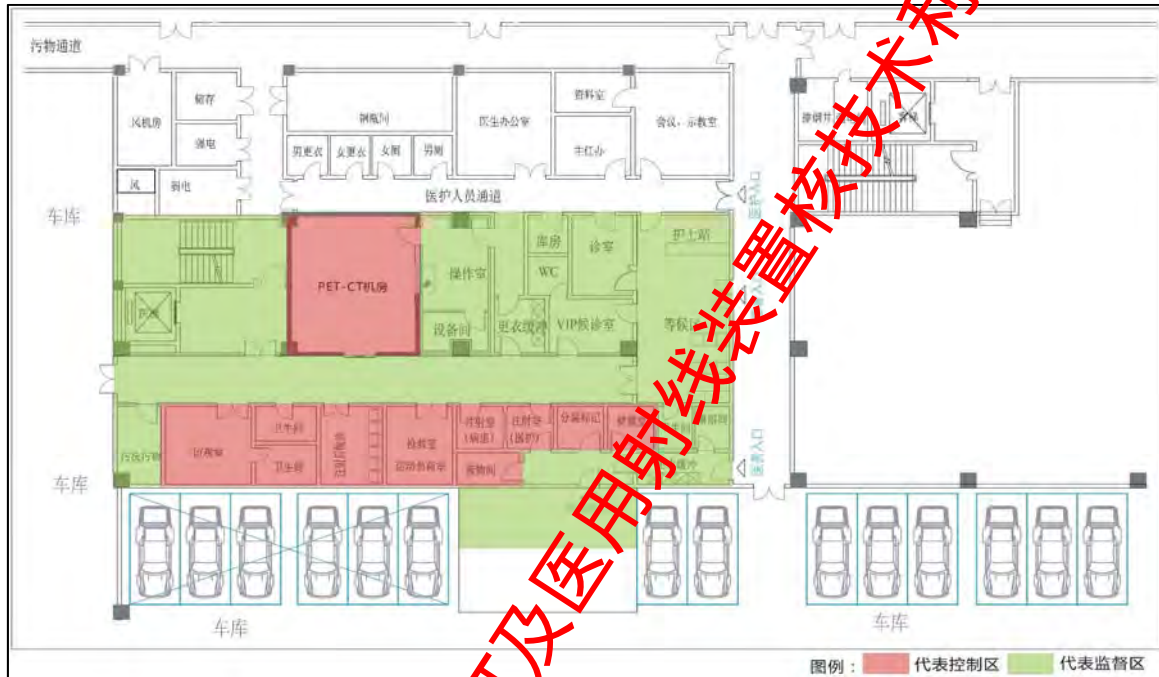
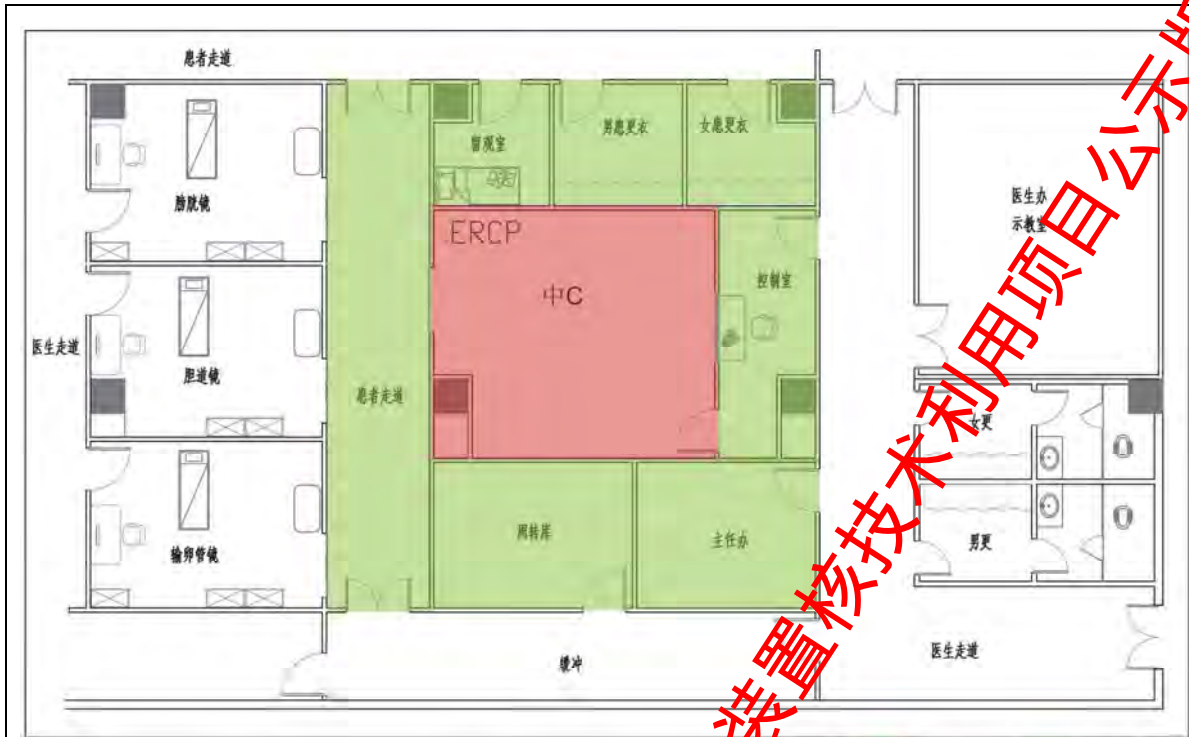


图 10-10 PET-CT 工作场所分区图



图 10-11 一层介入手术室 DSA 工作场所分区图



图例：■ 代表控制区 ■ 代表监督区

图 10-12 二层内镜中心中C工作场所分区图



图例：■ 代表控制区 ■ 代表监督区

图 10-13 四层杂交手术室 DSA 工作场所分区图



图 10-14 PET-CT 工作场所物流、人流路径示意图



图 10-15 PET-CT 工作场所通风示意图

三、辐射安全防护措施

1. PET-CT

(1) 工作场所辐射防护屏蔽设计

本项目 PET-CT 场所房间设计屏蔽条件见表 10-2。

表 10-2 PET-CT 场所房间设计屏蔽条件一览表

场所名称		屏蔽材料及厚度
储源室	墙体	240mm 砖墙+墙体内、外侧各增加 40mm 硫酸钡水泥
	屋顶、地面	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥
	防护门	8mmPb
注射室	墙体	240mm 砖墙+墙体内、外侧各增加各 40mm 硫酸钡水泥
	屋顶、地面	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥
	注射台防护窗	10mmPb
	防护门	8mmPb
注射后候诊室	墙体	240mm 砖墙+墙体内、外侧各增加 40mm 硫酸钡水泥
	屋顶、地面	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥
	防护门	8mmPb
留观室	墙体	240mm 砖墙+墙体内、外侧各增加各 40mm 硫酸钡水泥
	屋顶、地面	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥
	防护门	8mmPb
PET-CT 机房	墙体	240mm 砖墙+墙体内、外侧各增加各 30mm 硫酸钡水泥
	屋顶、地面	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥
	防护门	8mmPb
	观察窗口	8mmPb

(2) 医生、患者、药物流动线路

① 医护人员：注射工作人员从医务入口进入，在储源室领用 ^{18}F 药物针剂，进入注射室（医护）注射，注射完毕从医务入口离开；PET-CT 工作人员从医护入口进入，通过医护人员通道进出 PET-CT 操作室。

② 患者：患者在护士站登记后，在等候区等候，通过走廊通道进入注射室（病患），注射药物后进入注射后候诊室候诊；从患者防护门进入 PET-CT 机房，检查完后根据情况在留观室留观；留观 30min 左右后从留观室北侧患者出口楼梯间上楼离开。

③ 药物：放射性药物由销售商专业人员在当天医院上班前送至医院，从地下一层车库进入，通过专用核素出入口将药物暂存于储源室。

(3) 辐射安全与防护措施

① PET-CT 机房患者进出防护门上方设置工作状态指示灯。

② 医生、患者出入口通道门，注射室、注射后候诊室、PET-CT 机房、留观室的

防护门以及铅废物桶、储源室、废物间均张贴电离辐射警告标志。

③ 注射后候诊室、留观室均为患者设置专用卫生间。

④ 工作场所内均设有通风系统，通风量为 500~800m³/h。

⑤ 注射室、注射后候诊室、留观室场所地面拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；注射室操作台表面平整光滑、易去污，注射操作时铺衬吸水纸类物品。

⑥ 注射室、注射后候诊室、留观室内拟配置带铅防护垃圾桶，产生的沾有微量放射性核素 ¹⁸F 的放射性固体废物，均暂存于带铅防护垃圾桶内，每天诊断工作结束后集中收集并贴上标签（注明核素名称及日期）后，在废物间暂存；存放 10 个半衰期以上作为普通医疗废物处理。

⑦ 计划配备铅衣、铅围脖、铅眼镜、铅手套等个人防护用品；工作人员进入放射工作场所需更换服装，穿戴工作服、帽、鞋、防护口罩、手套及相应个人防护用品；工作人员离开放射工作场所，需进行表面污染检测，确认未受到放射污染，方可离开，进入非放射工作场所。

⑧ 配备相应的 X、γ 辐射监测仪器和表面污染监测仪器。

⑨ 患者根据预约按时在注射室接受注射药物，到注射后候诊室候诊，候诊期间不应随意走动，设有患者专用卫生间；检查完毕由专门出口处离开，尽量减少对其他人员的影响。

⑩ 职业人员和病人在控制区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作或存放无关物件，避免造成其他无关物件的污染。

2、医用血管造影 X 射线摄影系统工作场所安全防护措施

(1) 工作场所辐射防护屏蔽设计

介入手术室、内镜中心、杂交手术室计划建设机房墙体均采用 50 系列方管龙骨+4mm 铅板+12mm 石膏板+1.2mm 电解钢板，防护门和观察窗口铅玻璃均为 4mm 铅当量。机房地面及上层建筑地面均采用 40mm 硫酸钡水泥+3mm 自流坪+2mm 橡胶卷材。

机房辐射屏蔽措施与标准要求符合性分析见表 10-3。

(2) 医生、病员、污物流动线路

① 医护人员：医护人员换鞋、更衣后，通过洁净走道进入控制室。

② 患者：患者通过患者走道，由患者进出防护门进入机房接受诊断治疗；诊断

治疗结束后通过原路返回。

③ 污物：介入诊断治疗产生的医疗废物由机房经污物走道转移至医院医疗废物暂存间。

表 10-3 医用血管造影 X 射线摄线系统机房辐射屏蔽措施符合性分析表

位置	防护情况		辐射防护要求		是否满足要求
	建设情况	铅当量	GBZ 130-2013 要求	铅当量	
防护墙	50 系列方管龙骨 +4mm 铅板+12mm 石膏板+1.2mm 电解钢板	4mm	介入 X 射线设备机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm	2mm	满足
屋顶	250mm 钢筋混凝土 +40mm 硫酸钡水泥 +3mm 自流坪+2mm 橡胶卷材	约 4mm	应合理设置机房的门、窗和管线口位置，所有的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求	2mm	满足
地面	250mm 钢筋混凝土 +40mm 硫酸钡水泥 +3mm 自流坪+2mm 橡胶卷材	约 4mm		2mm	满足
防护门	4mmPb 钢质门、铝合金门框套	4mm		2mm	满足
观察窗	4mmPb 铅玻璃	4mm		2mm	满足
工作指示灯	患者出入防护门上部设置警示灯，并安装门灯联动装置			工作指示灯与门有效联动	/

(3) 辐射安全与防护措施

医用血管造影 X 射线摄线系统工作场所计划采取的辐射安全与防护措施分析见表 10-4。

表 10-4 医用血管造影 X 射线摄线系统机房辐射安全与防护措施符合性分析表

项目	建设情况	GBZ 130-2013 要求	是否满足要求
机房有效使用面积	DSA1 室：42.46m ²	30m ²	满足
	DSA2 室：43.99m ²		
	DSA3 室：41.43m ²		
	内镜中心中 C 室：37.99m ²		
	杂交手术室 DSA 室：72.85m ²		
机房涉及最小单边长度	DSA1 室：6.11m	4.5m	满足
	DSA2 室：6.11m		
	DSA3 室：6.11m		
	内镜中心中 C 室：5.8m		
	杂交手术室 DSA 室：7.3m		

续表 10-4 医用血管造影 X 射线摄线系统机房辐射安全与防护措施符合性分析表

项目	建设情况	GBZ 130-2013 要求	是否满足要求
监控	机房和操作室之间设有观察窗，可观察到患者和受检者状态。	机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态。	满足
布局及通风	机房内设备布置图中有用线束避开了门、窗和管线口位置；机房设置动力排风装置。	机房内布局要合理，应避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；机房应设置动力排风装置。	满足
防护要求	机房门外计划设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯及警示语句；防护门计划设置闭门装置和门灯联动装置。	机房门外应有电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯、灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯与机房相同的门能有效联动	满足
防护用品	铅悬挂防护屏 1 件 (0.5mmPb) 铅防护帘 1 件 (0.5mmPb) 床侧防护帘 (0.5mmPb)，铅防护服、铅帽、铅围脖等 (0.5mmPb)	配备铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘等，防护用品和辅助防护用品的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足

四、核技术利用单位辐射安全管理标准化建设

根据《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的〈陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表〉的通知》（陕环办发〔2018〕29 号），对核技术利用单位辐射安全管理标准化建设提出了要求，详见表 10-5 和表 10-6，本次评价要求该单位应严格按照文件要求条款落实相关内容。

表 10-5 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容	管理要求
人员管理	就确保辐射安全目标做出明确的文字承诺，并指派有决策层级的负责人分管辐射安全工作。
	年初工作安排部署和年终工作总结时，应包含辐射环境安全管理工作内容。
	明确涉辐部门和岗位的辐射安全职责。
	提供确保辐射安全所需的人力资源及物质保障。
	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗；熟知辐射安全法律法规及相关标准的具体要求并向员工和公众宣传辐射安全相关知识。
	负责编制辐射安全年度评估报告，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。
	健全辐射安全管理制度，跟踪落实各岗位辐射安全职责。
	建立辐射环境安全管理档案。
	对辐射工作场所定期巡查，发现安全隐患及时整改，并有巡查及整改记录。
	岗前进行职业健康体检，结果无异常。
直接从事放射工作的作业人员	参加辐射安全与防护培训并通过考核取得合格证，持证上岗。
	了解本岗位工作性质，熟悉本岗位辐射安全职责，并对确保岗位辐射安全做出承诺。
	熟悉辐射事故应急预案的内容，发生异常情况后，能有效处理。

续表 10-5 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（二）—辐射安全管理部分

管理内容	管理要求
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。
	建立辐射工作人员剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员及时复查，保证职业人员健康档案的连续有效性。
	建立辐射安全防护设施的维护与维修制度（包括维护维修内容与频次、重大问题管理措施、重新运行审批级别等内容），并建立维护、维修工作记录档案（包括检查项目、检查方法、检查结果、处理情况、检查人员、检查时间）。
	建立辐射环境监测制度，定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，并建立有效的监测记录或监测报告档案。
应急管理	建立监测环境监测设备使用与检定管理制度，定期对监测仪器设备进行检定，并建立检定档案。
	结合本单位实际制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行辐射事故应急演练。 辐射事故应急预案应报所在地县级环境保护行政主管部门备案。应急预案应当包括下列内容：①可能发生的辐射事故及危害程度分析；②应急组织指挥体系和职责分工；③应急人员培训和应急物资准备；④辐射事故应急响应措施；⑤辐射事故报告和处理程序。

表 10-6 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（四）
辐射安全防护措施部分（医疗类）摘要

项目	具体要求	
核医学	按标准要求划分控制区、监督区。	
	控制区：制备、分装放射性药物的操作室、给药室、治疗病人的床位区等。	
	监督区：使用放射性核素标记实验室、显像室、诊断病人的床位区、放射性核素或药物的贮存区、放射性废物贮存区等。	
	布局	诊断用给药室与检查室分开、候诊室靠近给药室与检查室。
	通风	排气口高于建筑屋脊，酌情设置活性炭过滤或其他专用过滤装置。
	标牌标志	控制区、监督区入口处适当位置设置分区标牌。
		控制区入口及其他适当位置处设置电离辐射警示标志。
辐射安全措施	场所表面易清洗，配备清洗或去污相关试剂、器材等设施。	
	候诊室设专用厕所。	
	操作放射性药物应在专门场所进行，操作用托盘内衬有吸水纸。 装有放射性药物的给药注射器应有适当屏蔽。	

续表 10-6 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（四）
辐射安全防护措施部分（医疗类）摘要

项目		具体要求	
核医学	辐射安全措施	工作人员操作时应穿戴个人防护用品。	
	放射性物质贮存容器	贮存放射性物质使用专门容器，应有适当屏蔽。	
		容器外设置电离辐射警示标志。	
	放射性固体废物管理	收集	按长、短半衰期分别收集。
			收集废物的污物桶具有外防护层，桶内放置专用塑料袋。
			污物桶外设置电离辐射警示标志。
		贮存	污物袋装满后应密封、不破漏，及时转送至贮存室，并放入专用容器中贮存。
			贮存室自然通风或设置通风设备。
			贮存室出入口设置电离辐射警示标志。
	放射性废液管理	贮存室内设置带防护层的专用收集容器。贮存容器外设置电离辐射警示标志和标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明的标牌。	
乙级非密封源工作场所设置放射性污水池，放射性废水存放直至符合排放要求时排放。			
医用 X 射线诊断	布局	放射性污水池合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，有防泄漏设施。	
		每台 X 射线机（不含移动式和便携式床旁摄影机与车载 X 射线机）设置单独的机房，机房满足使用设备的空间要求。	
	通风	机房内布局合理，有用线束避开照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	
	标志及指示灯	机房设置动力排风装置，并保持良好的通风。	
	防护性能	机房门外设置电离辐射警示标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯。	
	辐射安全与联锁	机房墙壁符合屏蔽防护标准要求，门、窗合理设置，并与其所在墙壁具有相同的防护性能。	
监测设备及个人防护用品	机房门设置闭门装置，且工作状态指示灯与机房门能有效联动。		
X-γ剂量率检测仪、表面沾污检测仪、个人剂量计、铅屏风、铅手套、铅围裙、铅眼镜、铅衣、铅帽、铅护颈等。			

三废的治理

一、PET-CT

1、放射性废水处置措施

PET-CT 产生的液态放射性废物主要为工作人员清洗、工作场所清洗产生废水和患者候诊期间产生的排泄物等。本项目计划建设一个三级衰变池，衰变池前段设置有化粪池，末端设置有缓冲池，每级设计容积 6m^3 ，尺寸为 $2.5\text{m}\times 1.5\text{m}\times 2.0\text{m}$ 。衰变池采用串联形式，衰变池满后自动转存至下一级衰变池。衰变池池壁采用混凝土结构，做防渗漏和耐酸碱处理，池盖面为 20cm 的防辐射材料混凝土制作。放射性废水均排入

专用衰变池内，在三级衰变池内累计停留 30 个半衰期以上后排入医院污水处理站处理，最终排入城市污水管网。

按患者每人次产生 10L 废水，PET-CT 场所和工作人员清洗每天产生废水不超过 700L，每天产生废水量约 0.9m³。¹⁸F 半衰期为 109.7min，按照暂存 24h（不少于 10 个半衰期 18.3h）估算，本项目衰变池每级设计容量为 6m³，可以满足放射性工作场所产生放射性废水的暂存及暂存时间要求。

2、放射性固体废物处置措施

该项目产生的放射性固体废物主要为 ¹⁸F 注射器、棉签、注射台上的吸水纸、工作人员佩戴手套等。产生的放射性固体废物，经带铅防护垃圾桶收集，每天诊断工作结束后集中收集并贴上标签（注明核素名称及日期）后，在废物库中暂存；废物暂存 10 个半衰期以后作为普通医疗废物处理。

3、废气治理措施

该项目使用 ¹⁸F 药物为直接购买已分装针剂，密封于注射器内，在注射室直接注射进入患者体内，基本不产生放射性废气。¹⁸F 药物因操作不慎等原因造成放射性药物撒漏，会产生微量放射性气体，由场所安装通风设施抽入专用通风管道，经活性炭或其他过滤材料过滤后由楼顶排放口排放。

PET-CT 在开机使用 CT 进行扫描时会产生 X 射线，X 射线使机房内空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物；本项目 PET-CT 机房内安装有通风系统，产生的臭氧和氮氧化物可通过通风系统排出。

二、医用血管造影 X 射线摄影系统

医用血管造影 X 射线摄影系统运行过程中不产生放射性“三废”，不产生废水。

废气主要为医用血管造影 X 射线摄影系统工作时产生 X 射线电离空气产生的臭氧和氮氧化物，通过机房内安装通风设施经排风口排放。

固体废物主要为手术过程中会产生纱布、针管、损伤废物、输液器等医疗废物，医疗废物收集后委托有医疗废物处理资质的单位集中处置。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

该项目施工期对环境主要影响为医院综合医疗楼涉及场所、房间的装修作业及设备安装等，施工阶段产生的污染主要是施工噪声、粉尘、废水和少量建筑垃圾。施工期对周围环境的影响，随着施工结束即消失。

大气：本项目在建设施工期将产生粉尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度。采取上述措施后扬尘会得到有效控制，对周围环境影响很小。

废水：项目施工期间，有少量建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理回用，对周围水环境影响很小。

噪声：在建筑施工阶段，将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响，在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 的标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，使噪声对周围人群影响降到最小程度。

固体废物：项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。对周围环境影响很小。

建设单位在施工阶段应采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内局部区域，对周围环境影响较小，且该项目建设阶段对外界的影响是暂时的，随着施工期的结束，影响也将消失。

本项目在建设或安装过程不产生 X 射线，不会对周围辐射环境产生影响。

运行阶段对环境的影响

一、PET-CT

根据工程分析可知，本项目 PET-CT 运行后主要的环境影响是放射性核素、放射源、放射性废物产生的 γ 射线以及 PET-CT 中 CT 出束时产生的 X 射线，对医务人员和公众产生外照射。

在辐射环境影响预测时，将药物针剂及已注射或口服药物的病人简化成点源，并采用《电离辐射防护技术及管理》(张丹枫、赵兰才著，P120) 中空气比释动能率估算公式进行预测：

$$K_0 = \Gamma A \eta / r^2 \quad \dots\dots \text{公式(1)}$$

式中： K_0 —空气比释动能率，mGy/h；

Γ —比释动能率常数，注射前为 0.143mGy·m²/h·GBq，注射后为 0.092mGy·m²/h·GBq（资料来源：AAPM Task Group 70s PET and PET/CT Shielding Requiements）；

A—核素（点源）活度，GBq；

η —透射比，无屏蔽情况下取 1；有屏蔽情况下， $\eta = e^{-\mu(h/TVT)}$ （其中 h 为屏蔽层厚度（mm），TVT 为半值层厚度（mm））。

r—距点源的距离，m。

本项目 ¹⁸F 衰变产生正电子湮灭产生 0.511MeV γ 射线，对于此 γ 射线砖的半值层为 10cm，混凝土的半值层为 6.4cm，重晶石混凝土的半值层为 3.1cm，铅的半值层为 5.7mm。

外照射所造成的预测点处人员的年累积剂量按下式（资料来源：《辐射防护导论》，方杰等著）计算。

$$D_{Eff} = K \times t \times T \times U \quad \dots\dots \text{公式(2)}$$

式中： D_{Eff} ——预测点人员附加有效剂量，Sv；

K——预测点的空气比释动能率，Gy/h；

t——预测点受放射性核素影响的时间，h；

T——居留因子；

U——使用因子，放射性核素以点源考虑，U 取 1。

1、⁶⁸Ge 校准源辐射环境影响分析

⁶⁸Ge 半衰期为 270.93 天，衰变方式为 EC（100%），衰变产生 9.3keV X 射线，射线能量较低。PET-CT 校准使用的 ⁶⁸Ge 放射源活度为 9.25×10⁷Bq、4.625×10⁷Bq，属于 V 类放射源。当 ⁶⁸Ge 活度退役或不再使用时，应联系厂家回收处置。

⁶⁸Ge 校准源暂存于 PET-CT 设备屏蔽体内，由设备专用屏蔽体对校准源进行屏蔽。校验操作时，工作人员在控制室内通过计算机控制校准源屏蔽体打开进行校验操作，此时人员均在 PET-CT 机房外，由机房墙体、防护门对校准源进行屏蔽。校准源在暂存使用过程中屏蔽体、PET-CT 机房墙体和防护门基本可以完全屏蔽 ⁶⁸Ge 衰变产生

9.3keV X 射线，⁶⁸Ge 校验源对周围环境和人员产生辐射影响甚微。

2、¹⁸F 药物暂存过程辐射影响分析

购买 ¹⁸F 针剂单支最大活度为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ (15mCi)，每支针剂均配备 5mmPb 防护针套。储源室墙体为 240mm 砖墙+墙体内、外侧各 40mm 硫酸钡水泥。购买 ¹⁸F 针剂包装体及每个针管自带防护针套总防护厚度约为 20mmPb。

购买 20 支 ¹⁸F 针剂按点源进行估算，根据公式(1)，按 20min 领用一支 ¹⁸F 针剂。储源室四周和楼上、楼下关注点辐射剂量率估算结果见表 11-1。

表 11-1 ¹⁸F 药物储源库周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	¹⁸ F 药物活度(Bq)	与源的距离(m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率(μGy/h)
储源室东侧 卫生间、北侧墙 外走廊、南侧墙 外走廊、西侧分 装标记室	$5.55 \times 10^8 \times 20$ 支	1.6	240mm 砖墙+墙 体内、外侧各 40mm 硫酸钡水 泥+20mm 铅防护	2.78×10^{-3}	1.7237
	$5.55 \times 10^8 \times 19$ 支				1.6375
	$5.55 \times 10^8 \times 18$ 支				1.5513
	$5.55 \times 10^8 \times 17$ 支				1.4652
	$5.55 \times 10^8 \times 16$ 支				1.3790
	$5.55 \times 10^8 \times 15$ 支				1.2928
	$5.55 \times 10^8 \times 14$ 支				1.2066
	$5.55 \times 10^8 \times 13$ 支				1.1204
	$5.55 \times 10^8 \times 12$ 支				1.0342
	$5.55 \times 10^8 \times 11$ 支				0.9480
	$5.55 \times 10^8 \times 10$ 支				0.8619
	$5.55 \times 10^8 \times 9$ 支				0.7757
	$5.55 \times 10^8 \times 8$ 支				0.6895
	$5.55 \times 10^8 \times 7$ 支				0.6033
	$5.55 \times 10^8 \times 6$ 支				0.5171
	$5.55 \times 10^8 \times 5$ 支				0.4309
	$5.55 \times 10^8 \times 4$ 支				0.3447
	$5.55 \times 10^8 \times 3$ 支				0.2586
	$5.55 \times 10^8 \times 2$ 支				0.1724
	$5.55 \times 10^8 \times 1$ 支				0.0862
按 20min 领用一次，每天所受有效剂量为 6.0330μSv。					
储源室防护门外 走廊	$5.55 \times 10^8 \times 20$ 支	1.7	28mm 铅防护	3.32×10^{-2}	18.2347
	$5.55 \times 10^8 \times 19$ 支				17.3230
	$5.55 \times 10^8 \times 18$ 支				16.4113
	$5.55 \times 10^8 \times 17$ 支				15.4995
	$5.55 \times 10^8 \times 16$ 支				14.5878
	$5.55 \times 10^8 \times 15$ 支				13.6760
	$5.55 \times 10^8 \times 14$ 支				12.7643
	$5.55 \times 10^8 \times 13$ 支				11.8526
	$5.55 \times 10^8 \times 12$ 支				10.9408
	$5.55 \times 10^8 \times 11$ 支				10.0291
	$5.55 \times 10^8 \times 10$ 支				9.1174

续表 11-1 ¹⁸F 药物储源库周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	¹⁸ F 药物活度(Bq)	与源的距离(m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率(μGy/h)
储源室防护门外走廊	5.55×10 ⁸ ×9 支	1.7	28mm 铅防护	3.32×10 ⁻²	8.2036
	5.55×10 ⁸ ×8 支				7.2299
	5.55×10 ⁸ ×7 支				6.3822
	5.55×10 ⁸ ×6 支				5.64704
	5.55×10 ⁸ ×5 支				4.5587
	5.55×10 ⁸ ×4 支				3.6469
	5.55×10 ⁸ ×3 支				2.7352
	5.55×10 ⁸ ×2 支				1.8235
	5.55×10 ⁸ ×1 支				0.9117
按 20min 领用一次, 每天所受有效剂量为 6.54215μSv。					
储源室楼上 (DR 机房、走道)、楼下 (车库)	5.55×10 ⁸ ×20 支	3	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥+20mm 铅防护	2.4×10 ⁻³	0.4233
	5.55×10 ⁸ ×19 支				0.4021
	5.55×10 ⁸ ×18 支				0.3810
	5.55×10 ⁸ ×17 支				0.3598
	5.55×10 ⁸ ×16 支				0.3386
	5.55×10 ⁸ ×15 支				0.3175
	5.55×10 ⁸ ×14 支				0.2963
	5.55×10 ⁸ ×13 支				0.2751
	5.55×10 ⁸ ×12 支				0.2540
	5.55×10 ⁸ ×11 支				0.2328
	5.55×10 ⁸ ×10 支				0.2116
	5.55×10 ⁸ ×9 支				0.1905
	5.55×10 ⁸ ×8 支				0.1693
	5.55×10 ⁸ ×7 支				0.1481
	5.55×10 ⁸ ×6 支				0.1270
	5.55×10 ⁸ ×5 支				0.1058
	5.55×10 ⁸ ×4 支				0.0847
5.55×10 ⁸ ×3 支	0.0635				
5.55×10 ⁸ ×2 支	0.0423				
5.55×10 ⁸ ×1 支	0.0212				
按 20min 领用一次, 每天所受有效剂量为 1.4815μSv。					

2、¹⁸F 药物注射过程中辐射影响分析

¹⁸F 针剂 (外套 5mm 铅当量防护套) 由注射工作人员领取, 注射工作人员穿戴铅防护服 (0.5mmPb) 在注射室 (医护) 通过注射窗口 (10mmPb) 对患者进行注射。根据公式(1), ¹⁸F 针剂周围辐射剂量率估算结果见表 11-2, 注射室周围活动辐射剂量率估算结果见表 11-3。

表 11-2 ¹⁸F 针剂周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	¹⁸ F 药物活度(Bq)	与源的距离(m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率(μGy/h)
领用 ¹⁸ F 针剂	5.55×10 ⁸	0.5	5.5mmPb	0.5123	162.6378
¹⁸ F 针剂注射	5.55×10 ⁸	0.5	10.5mmPb	0.2789	88.5442

表 11-3 注射室周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	¹⁸ F 药物活度 (Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率 (μGy/h)
北侧防护门外走道	5.55×10 ⁸	2.3	8mmPb	0.378	5.6712
北侧墙外走道	5.55×10 ⁸	1.6	240mm 砖墙+ 墙体内、外 侧各 40mm 硫酸钡水泥	0.03167	0.9817
东侧分装标记室	5.55×10 ⁸	2.7			0.3448
西侧抢救室	5.55×10 ⁸	2.8			0.3206
楼上 DR 机房	5.55×10 ⁸	3	250mm 钢筋 混凝土 +40mm 硫酸 钡水泥	0.02727	0.2405
楼下车库	5.55×10 ⁸	3			0.2405

3、注射后候诊过程中辐射影响分析

PET-CT 检查时间为每人每次 5~25min，正常情况下注射后候诊室同时候诊人员不超过 4 人。注射后候诊室周围辐射剂量率估算结果见表 11-4。

表 11-4 注射后候诊室周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	候诊患者用药总活度(Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率 (μGy/h)
北侧防护门外走道	2.22×10 ⁹	2.9	8mmPb	0.378	9.1801
北侧墙外走道、南侧车库	2.22×10 ⁹	2.5	240mm 砖墙+墙 体内、外侧各 40mm 硫酸钡水 泥	0.03167	1.0350
东侧抢救室 西侧卫生间	2.22×10 ⁹	2.7			1.6172
楼上更衣室	2.22×10 ⁹	3	250mm 钢筋混 凝土+40mm 硫 酸钡水泥	0.02727	0.6188
楼下车库	2.22×10 ⁹				0.6188

4、PET-CT 检查辐射影响分析

PET-CT 检查前由工作人员指导患者摆位，伺服过程距离患者约 1m。PET-CT 检查前机房内和检查过程中机房周围辐射剂量率估算结果见表 11-5。

表 11-5 PET-CT 机房内及其周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	患者注射药物活度(Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率 (μGy/h)
机房内伺服位	5.55×10 ⁸	1	0.5mmPb 防护服	0.9410	48.0479
东侧操作室	5.55×10 ⁸	3.5	8mmPb	0.3780	1.5756
南侧防护门外通道	5.55×10 ⁸	4			1.2063
北侧、南侧墙外通道	5.55×10 ⁸	4	370mm 砖墙+墙体 内、外侧各 30mm 硫酸钡水泥	0.02012	0.0642
西侧电梯间 东侧设备间	5.55×10 ⁸	3.5			0.0839

表 11-5 PET-CT 机房内及其周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	患者注射药物活度(Bq)	与源的距离(m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率(μGy/h)
楼上配电室	5.55×10 ⁸	3	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥	0.02727	0.1547
楼上 DR 操作室	5.55×10 ⁸	3			0.1547
楼下车库	5.55×10 ⁸	3			0.1547

5、留观过程中辐射影响分析

留观室主要为检查完毕后观察是否有其它异常反应，正常情况下需留观患者人数较少，留观室同时留观患者人数一般不超过 2 人。患者留观过程留观室周围辐射剂量率估算结果见表 11-6。

表 11-6 患者留观过程留观室周围辐射剂量率估算结果

参考点位置	患者注射药物活度(Bq)	与源的距离(m)	屏蔽措施	透射比	辐射剂量率(μGy/h)
北侧防护门外走廊	1.11×10 ⁹	1.8	8mm Pb	0.378	11.9143
北侧墙外走廊、南侧车库	1.11×10 ⁹	1.2	240mm 砖墙+墙体内外侧各 40mm 硫酸钡水泥	0.03167	2.2461
东侧卫生间西侧污物室	1.11×10 ⁹	1.8			0.9983
楼上空调机房、走道	1.11×10 ⁹	3	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥	0.02727	0.3094
楼下衰变池、储存间	1.11×10 ⁹	3			0.3094

6、工作人员、公众年剂量估算

根据 PET-CT 检查流程，工作人员主要为注射人员、伺服人员、PET-CT 操作人员，影响公众主要为候诊区人员、PET-CT 场所东侧、南侧和楼下车库活动人员、PET-CT 工作场所楼上活动人员。根据表 11-1~表 11-5，工作人员和公众年剂量估算结果见表 11-7。

表 11-7 工作人员和公众年有效剂量估算结果

影响人员		活动场所	时间	辐射剂量率(μGy/h)	居留因子	年有效剂量(mSv)		年剂量管理限值
工作人员	分装标记室工作人员	候诊室西侧分装标记室	150d	6.0330*	1	0.9050	1.5119	5mSv
		注射室东侧分装标记室	25h	0.3448	1	0.0086		
		储源室防护门外走廊	150d	63.8215*	1/16	0.5983	4.1667	5mSv
注射人员	储源室防护门外走廊	150d	63.8215*	1/16	0.5983			
		¹⁸ F 针剂领取	8.34h	162.6378	1	1.3548		
		¹⁸ F 针剂注射	25h	88.5442	1	2.2136		

续表 11-7 工作人员和公众年有效剂量估算结果

影响人员		活动场所	时间	辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	居留因子	年有效剂量 (mSv)		年剂量 管理限值
工作人员	伺候人员	注射后候诊室防护门外	500h	9.1801	1/16	0.2869	3.8710	5mSv
		PET-CT 机房内	50h	48.0479	1	2.4024		
		PET-CT 操作室	750h	1.5756	1	1.1817		
	PET-CT 操作人员	PET-CT 操作室	750h	1.5756	1	1.1817	5mSv	
	注射后患者 导引、 巡视人员	储源库北侧走廊	150d	6.0330*	1/4	0.2262	2.3784	5mSv
		注射室防护门外	25h	5.6712	1/4	0.0374		
		注射后候诊室防护门外	500h	9.1801	1/4	1.1415		
		PET-CT 机房防护门外	750h	1.2063	1/4	0.2262		
留观室防护门外		250h	11.9143	1/4	0.7446			
公众	患者、陪同家属	候诊区、 储源室东侧卫生间	150d	6.0330*	1/4	0.2262	0.25mSv	
	护士站 护士	储源室北侧通道、候诊区	150d	6.0330*	1/4	0.2262	0.25mSv	
公众	地下一层 车库活动 人员	注射后候诊室南侧车库	500h	1.0350	1/16	0.0323	0.0674	0.25mSv
		留观室南侧车库	250h	0.2405	1/16	0.0351		
	地下二层 车库活动 人员	储源室楼下车库	150d	1.4815*	1/16	0.0139	0.0336	0.25mSv
		注射室楼下车库	25h	0.2405	1/16	0.0004		
		注射后候诊室楼下车库	500h	0.6188	1/16	0.0193		
	DR 检查 患者	储源室楼上走廊	150d	1.4815*	1/16	0.0139	0.0143	0.25mSv
		注射室楼上 DR 机房	25h	0.2405	1/16	0.0004		
	DR 操作 人员	储源室楼上 DR 机房	150d	1.4815*	1/4	0.0556	0.0571	0.25mSv
		注射室楼上 DR 机房	25h	0.2405	1/4	0.0015		
	一层影像 中心医生	注射后候诊室楼上更衣 室	500h	0.6188	1/4	0.0774	0.0967	0.25mSv
		留观室楼上走廊	250h	0.3094	1/4	0.0193		

备注：带*数据单位为 $\mu\text{Sv/d}$ 。

根据表 11-7 估算结果可知，PET-CT 项目对工作人员所致年有效剂量为 (1.1817~4.1067) mSv，低于工作人员年剂量管理限值 5mSv。由于 ^{18}F 药物半衰期较短 (109.7min)，药物中 ^{18}F 的活度不断降低，其产生辐射剂量率也不断降低，工作人员也可轮换作业，实际工作人员年有效剂量低于估算结果。PET-CT 项目对公众年有效剂量为 (0.0143~0.2262) mSv，低于公众年剂量管理限值 0.25mSv。

7、表面污染影响分析

本项目使用 ^{18}F 为购买已分装针剂，使用过程中 ^{18}F 药物均封装于注射器内，操作时将注射器内药物注射入患者体内，基本不会发生液态药物泄漏。 ^{18}F 药物针管破损或工作人员操作失误使 ^{18}F 药物的撒漏，造成工作场所的污染。注射药物后患者的体液、排泄物等含有放射性药物 ^{18}F ，如患者随意吐痰等可造成其停留场所的污染。

因此通过加强工作人员的培训可有效降低人为误操作造成的放射性药物撒漏，操作台铺衬吸水纸可对一旦失误造成的撒漏进行补救，避免液态药物造成的污染。加强对注射药物患者的管理，告知其可能产生的危害，从而避免对候诊等场所的污染。

综上所述，本项目在采取操作台面铺衬吸水纸、加强人员培训和患者的管理，可以有效避免对工作场所的表面污染，本项目开展后工作场所表面污染水平可以控制在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中表面污染控制水平之内。

8、PET-CT 机房使用 CT 时屏蔽措施评价

本项目配备的 PET-CT 设备中 CT 作为 III 类射线装置，管电压为 140kV，管电流为 420mA。PET-CT 机房使用 CT 时辐射屏蔽措施符合性见表 11-8。

表 11-8 PET-CT 机房使用 CT 时辐射屏蔽措施符合性分析表

位置	建设情况	辐射防护要求		是否满足要求
		GBZ 130-2013 要求	GBZ/T 180-2006 要求	
墙体	370mm 实心砖墙+墙体内、外侧各 30mm 硫酸钡水泥	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：一般工作量情况下，铅当量 2mm，较大工作量情况下，铅当量 2.5mm	CT 机房一般屏蔽要求如下：一般工作量下的机房屏蔽：16cm 混凝土（密度 2.35t/m^3 ）或 24cm 砖（密度 1.65t/m^3 ）或 2mm 铅当量；较大工作量下的机房屏蔽：20cm 混凝土（密度 2.35t/m^3 ）或 37cm 砖（密度 1.65t/m^3 ）或 2.5mm 铅当量。	满足
屋顶	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥		满足	
地面	250mm 钢筋混凝土+40mm 硫酸钡水泥		满足	
防护门	8mm 铅		满足	
观察窗	铅玻璃（8mm 铅当量）		满足	
机房有效面积	PET-CT 机房有效面积约 42m^2 ，最小单边长度为 5.87m。	机房内最小有效面积为 30m^3 ，最小单边长度为 4.5m。	/	满足

注：PET-CT 设备中 CT 的使用频率较小，本次评价以“一般工作量”考虑。

由表 11-8 可知，本项目 PET-CT 机房辐射屏蔽措施均能够满足《医用 X 射线诊断

放射防护要求》(GBZ 130-2013)和《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ/T188-2006)中对 CT 机房的辐射屏蔽要求,其开机时 X 射线对周边环境的影响较小。

9、废气环境影响分析

由于本项目使用 ^{18}F 药物为非挥发核素,且操作过程中 ^{18}F 药物均被密封于针管内,操作过程中不进行加热、震荡等操作, ^{18}F 药物在注射过程中基本不产生放射性废气;当操作不慎造成存放 ^{18}F 药物针管破损时,会造成放射性核素泄露,少量的 ^{18}F 药物可能以气态的形式进入空气中。PET-CT 在使用 CT 时产生的 X 射线会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物。

本项目 PET-CT 工作场所计划安装通风设施,其中 PET-CT 机房、操作室通风设施通风量为 $800\text{m}^3/\text{h}$,储源室、分装标记室、注射室、注射后候诊室、留观室通风设施通风量为 $500\text{m}^3/\text{h}$,通风设施设置活性炭或其他材料的过滤装置,经过滤后通过楼顶高于屋脊排放口排放,排放口的高度满足《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006)中“排气口应高于本建筑屋脊,并酌情设有活性炭吸附过滤或其它专用过滤装置”要求。项目运行后,PET-CT 工作场所产生的废气对人员和周围环境影响较小。

10、放射性废水影响分析

医院拟在地下二层车库(留观室下方位置)建造三级衰变池,衰变池每级设计容积 6m^3 。衰变池池壁采用混凝土结构,做防渗漏和耐酸碱处理,池盖面为 20cm 的防辐射材料混凝土制作。

根据医院 PET-CT 预计最大工作量 20 人(次)/天,每天产生放射性废水量约 0.9m^3 ,仅约占一级衰变池容积的 $1/6$,衰变池容量可以满足正常情况下产生废水量,并预留有约 5m^3 的容量,足以应对事故工况下产生的放射性废水的暂存。

本项目产生放射性废水在三级衰变池内可暂存 3 天(约 39 个半衰期)以上,经三级衰变池处理后进入医院污水处理站,最终排入市政污水管网,不会对环境造成放射性污染。

11、放射性固体废物影响分析

本项目注射室、注射后候诊室、留观室内均计划配置带铅防护的垃圾桶,产生的放射性固体废物均在其中暂存,每天诊断工作结束后将集中收集并贴上标签(注明核素名称、日期)后,暂存于废物间,暂存 10 个半衰期以上(约 24h),作为一般医疗废物处理。 ^{68}Ge 校准源为 V 类放射源,退役或不再使用时应联系厂家回收处置。本项

目产生放射性固体废物不会对环境造成放射性污染。

二、DSA、中 C 辐射影响分析

1、手术工作量

该项目使用 DSA、中 C 包括透视和采集两种工作模式，根据单位提供资料，本项目正常运行后，每台 DSA、中 C 每年不超过 500 台手术，每次手术开机照射时间中透视约 15min、采集约 3min，则本项目射线装置的预计年开机工作时间见表 11-9。

表 11-9 不同工作模式下的预计开机时间

工作模式	每台手术出束时间	年最大工作量	年开机时间
透视	15min	500 台手术	125h
采集	3min	500 台手术	25h

2、各关注点辐射剂量率估算

本项目中 DSA、中 C 出束正对患者，各关注点处主要受到 X 射线机泄漏射线和患者散射射线的影响。手术时，医生在患者旁进行插管操作，操作过程中受到泄漏射线和散射射线的照射。因此，本次评价主要分析泄漏辐射和散射辐射对周边环境和人员的辐射影响。

本项目中介入手术室 3 台 DSA 和杂交手术室 1 台 DSA 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1250mA，内镜中心使用 1 台中 C 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA。DSA、中 C 设备在实际使用时，X 射线管管电压和管电流由软件自动控制，与患者检查部位、患者的胖瘦有关，一般管电压在 90kV 左右即可以获取满足大部分患者的诊断检查要求图像质量。

根据《医用外照射源的辐射防护》P55 图 2，当管电压为 90kV 时，离靶 1m 处的剂量率约为 $6.75\text{mGy}/\text{mA}\cdot\text{min}$ ，参考同类型装置运行情况，透视时最大管电流保守取 10mA，采集取 500mA，则本项目距靶点 1m 处的最大剂量率保守取透视时 $4.05 \times 10^6 \mu\text{Gy}/\text{h}$ ，采集时 $2.02 \times 10^8 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 。一般射线泄露、散射率按 0.1% 估算，故计算周围剂量率水平时，透视取 $4.05 \times 10^3 \mu\text{Gy}/\text{h}$ ，采集时 $2.02 \times 10^5 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

(1) 泄漏辐射剂量率估算

① 估算方法

泄漏辐射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》([M]北京：原子能出版社，1987) 中给出的公式计算。对于给定的屏蔽物质，屏蔽透射因子参考

《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) 附录 D 计算。

$$H_L = \frac{H_0 \times B \times f}{d^2} \quad \dots\dots \text{公式(3)}$$

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \dots\dots \text{公式(4)}$$

式中: H_L ——关注点漏射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

f ——设备射线泄漏率, 取 0.1%;

H_0 ——离靶 1m 处的剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

d ——计算点距源点的距离, m;

B ——透射因子;

X ——铅厚度, mm;

α 、 β 、 γ 为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数, 见表 11-10。

表 11-10 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		α	β	γ
90kV	铅	3.69	18.83	0.7226

注: α 、 β 、 γ 取值参考《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 附录 D

② 估算结果

本项目防护门、观察窗、四周墙体、楼上和楼下各关注点的泄漏辐射剂量率估算见表 11-11~表 11-15。

表 11-11 一层介入手术室 DSA1 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		d (m)	X (mm)	透射因子 B	H_0 (采集) ($\mu\text{Gy/h}$)	采集状态 剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	H_0 (透视) ($\mu\text{Gy/h}$)	透视状态 剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
西侧	墙外(患者通道)	4	4	3.69 E-07	2.02E+08	6.85E-03	4.05E+06	1.37E-04
北侧	墙外(患者通道)	3.5	4	3.69E-07	2.02E+08	6.09E-03	4.05E+06	1.22E-04
	防护门外	4.6	4	3.69E-07	2.02E+08	3.52E-03	4.05E+06	7.07E-05
东侧	防护门外	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	3.11E-03	4.05E+06	6.23E-05
	观察窗外(控制室)	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	3.68E-03	4.05E+06	7.38E-05
	墙外(机房)	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	3.11E-03	4.05E+06	6.23E-05
南侧	防护门外	4.7	4	3.69E-07	2.02E+08	3.38E-03	4.05E+06	6.77E-05

续表 11-11 一层介入手术室 DSA1 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		d (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
南侧	墙外(污物通道)	3.6	4	3.69E-07	2.02E+08	5.75E-03	4.05E+06	1.15E-04
楼上(办公室、值班室)		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.83E-04	4.05E+06	5.68E-06
楼下变电所		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	5.55E-04	4.05E+06	1.11E-05

表 11-12 一层介入手术室 DSA2 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		d (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
东侧	墙外(DSA3室)	3.7	4	3.69 E-07	2.02E+08	5.45E-03	4.05E+06	1.09E-04
北侧	墙外(患者通道)	3.5	4	3.69E-07	2.02E+08	6.09E-03	4.05E+06	1.22E-04
	防护门外	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	3.68E-03	4.05E+06	7.38E-05
西侧	防护门外	5.0	4	3.69E-07	2.02E+08	2.98E-03	4.05E+06	5.98E-05
	观察窗外(控制室)	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	3.68E-03	4.05E+06	7.38E-05
	墙外(机房)	5.0	4	3.69E-07	2.02E+08	2.98E-03	4.05E+06	5.98E-05
南侧	防护门外	4.7	4	3.69E-07	2.02E+08	3.38E-03	4.05E+06	6.77E-05
	墙外(污物通道)	3.6	4	3.69E-07	2.02E+08	5.75E-03	4.05E+06	1.15E-04
楼上(污洗室、更衣室)		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.83E-04	4.05E+06	5.68E-06
楼下(变电所)		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	5.55E-04	4.05E+06	1.11E-05

表 11-13 一层介入手术室 DSA3 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		d (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
西侧	墙外(DSA2室)	3.5	4	3.69 E-07	2.02E+08	6.09E-03	4.05E+06	1.22E-04
北侧	墙外(患者通道)	3.5	4	3.69E-07	2.02E+08	6.09E-03	4.05E+06	1.22E-04
	防护门外	4.6	4	3.69E-07	2.02E+08	3.52E-03	4.05E+06	7.07E-05

续表 11-13 一层介入手术室 DSA3 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		d (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
东 侧	防护门外	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	3.11E-03	4.05E+06	6.23E-05
	观察窗外 (控制室)	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	3.68E-03	4.05E+06	7.38E-05
	墙外(机 房)	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	3.11E-03	4.05E+06	6.23E-05
南 侧	防护门外	4.0	4	3.69E-07	2.02E+08	4.66E-03	4.05E+06	9.34E-05
	墙外(污物 通道)	3.6	4	3.69E-07	2.02E+08	5.75E-03	4.05E+06	1.15E-04
楼上办公室		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.83E-04	4.05E+06	5.68E-06
楼下(变电所)		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	5.55E-04	4.05E+06	1.11E-05

表 11-14 二层内镜中心中 C 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		d (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
西 侧	防护门外 (患者通道)	3.0	4	3.69E-07	2.02E+08	8.28E-03	4.05E+06	1.66E-04
	墙外 (患者通道)	3.0	4	3.69E-07	2.02E+08	8.28E-03	4.05E+06	1.66E-04
北 侧	墙外(留观 室、更衣室)	2.8	4	3.69E-07	2.02E+08	9.51E-03	4.05E+06	1.91E-04
东 侧	防护门外	4.0	4	3.69E-07	2.02E+08	4.66E-03	4.05E+06	9.34E-05
	观察窗外(控 制室)	3.0	4	3.69E-07	2.02E+08	8.28E-03	4.05E+06	1.66E-04
	墙外(控制 室)	3.0	4	3.69E-07	2.02E+08	8.28E-03	4.05E+06	1.66E-04
南 侧	墙外(办公 室、机房)	2.8	4	3.69E-07	2.02E+08	9.51E-03	4.05E+06	1.91E-04
楼上(办公区、值班 室)		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.83E-04	4.05E+06	5.68E-06
楼下(通道、DR 机 房、MRI 机房)		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	5.55E-04	4.05E+06	1.11E-05

表 11-15 四层杂交手术室 DSA 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		d (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
西侧	防护门外 (控制室)	5.8	4	3.69 E-07	2.02E+08	2.22E-03	4.05E+06	4.44E-05
	观察窗口外 (控制台)	5.8	4	3.69 E-07	2.02E+08	2.22E-03	4.05E+06	4.44E-05
	墙外(设备 间、UPS 间)	4.4	4	3.69E-07	2.02E+08	3.85E-03	4.05E+06	7.72E-05
南侧	墙外(走廊)	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	3.68E-03	4.05E+06	7.38E-05
	防护门外(走 廊)	5.3	4	3.69E-07	2.02E+08	2.65E-03	4.05E+06	5.32E-05
东侧	防护门外(走 廊)	6.5	4	3.69E-07	2.02E+08	1.76E-03	4.05E+06	3.54E-05
	墙外(走廊)	4.3	4	3.69E-07	2.02E+08	4.03E-03	4.05E+06	8.09E-05
北侧	墙外(DR 机 房)	6.7	4	3.69E-07	2.02E+08	1.66E-03	4.05E+06	3.33E-05
楼上(净化机房)		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.83E-04	4.05E+06	5.68E-06
楼下(药品、物品 库)		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	5.55E-04	4.05E+06	1.11E-05

(2) 散射辐射剂量率估算

① 估算方法

对于患者体表的散射 X 射线根据反照率法估计。散射剂量率计算公式参考《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》([M]北京: 原子能出版社, 1987):

$$H_s = \frac{H_0 \times \alpha \times B \times (S/400)}{(d_0 \times d_s)^2} \quad \dots\dots \text{公式(5)}$$

式中: H_s—关注点处的患者散射剂量率, μGy/h;

H₀—距靶点 d₀ 处的最大剂量率, μGy/h;

α—患者对 X 射线的散射比, 取 0.0013 (90° 散射, 相对于 400cm² 散射面积), 取自《辐射防护手册第一分册》;

S—散射面积, 取典型值 100cm²;

d₀—源与患者的距离, 一般取 0.3m;

d_s—患者与关注点的距离, m;

B—屏蔽透射因子, 按公式(4)计算。

② 估算结果

本项目防护门、观察窗、四周墙体、楼上和楼下等各关注点的散射辐射剂量率估算见表 11-16~表 11-20。

表 11-16 一层介入手术室 DSA1 各关注点散射辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		ds (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
西 侧	墙外（患者 通道）	3.3	4	3.69 E-07	2.02E+08	2.85E-02	4.05E+06	5.72E-04
北 侧	墙外（患者 通道）	3.5	4	3.69E-07	2.02E+08	2.54E-02	4.05E+06	5.08E-04
	防护门外	4.6	4	3.69E-07	2.02E+08	1.47E-02	4.05E+06	2.94E-04
东 侧	防护门外	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	1.29E-02	4.05E+06	2.59E-04
	观察窗外 （控制室）	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	1.53E-02	4.05E+06	3.08E-04
	墙外（机 房）	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	1.29E-02	4.05E+06	2.59E-04
南 侧	防护门外	4.7	4	3.69E-07	2.02E+08	1.41E-02	4.05E+06	2.82E-04
	墙外（污物 通道）	3.6	4	3.69E-07	2.02E+08	2.40E-02	4.05E+06	4.81E-04
楼上（办公室、值 班室）		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	1.18E-03	4.05E+06	2.37E-05
楼下变电所		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.31E-03	4.05E+06	4.64E-05

表 11-17 一层介入手术室 DSA2 各关注点散射辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		ds (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
东 侧	墙外（DSA3 室）	3.7	4	3.69 E-07	2.02E+08	2.27E-02	4.05E+06	4.55E-04
北 侧	墙外（患者 通道）	3.5	4	3.69E-07	2.02E+08	2.54E-02	4.05E+06	5.08E-04
	防护门外	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	1.53E-02	4.05E+06	3.08E-04
西 侧	防护门外	5.0	4	3.69E-07	2.02E+08	1.24E-02	4.05E+06	2.49E-04
	观察窗外 （控制室）	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	1.53E-02	4.05E+06	3.08E-04
	墙外（机 房）	5.0	4	3.69E-07	2.02E+08	1.24E-02	4.05E+06	2.49E-04
南 侧	防护门外	4.7	4	3.69E-07	2.02E+08	1.41E-02	4.05E+06	2.82E-04
	墙外（污物 通道）	3.6	4	3.69E-07	2.02E+08	2.40E-02	4.05E+06	4.81E-04

续表 11-17 一层介入手术室 DSA2 各关注点散射辐射剂量率估算结果

关注点位置描述	ds (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态剂量率 (μGy/h)
楼上(污洗室、更衣室)	3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	1.18E-03	4.05E+06	2.37E-05
楼下(变电所)	2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.31E-03	4.05E+06	4.64E-05

表 11-18 一层介入手术室 DSA3 各关注点散射辐射剂量率估算结果

关注点位置描述	ds (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态剂量率 (μGy/h)
西侧 墙外(DSA2室)	3.5	4	3.69 E-07	2.02E+08	2.54E-02	4.05E+06	5.08E-04
北侧 墙外(患者通道)	3.5	4	3.69E-07	2.02E+08	2.54E-02	4.05E+06	5.08E-04
	防护门外	4.6	4	3.69E-07	2.02E+08	1.47E-02	4.05E+06
东侧 防护门外	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	1.29E-02	4.05E+06	2.59E-04
东侧 观察窗外(控制室)	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	1.53E-02	4.05E+06	3.08E-04
	墙外(机房)	4.9	4	3.69E-07	2.02E+08	1.29E-02	4.05E+06
南侧 防护门外	4.0	4	3.69E-07	2.02E+08	1.94E-02	4.05E+06	3.89E-04
	墙外(污物通道)	3.6	4	3.69E-07	2.02E+08	2.40E-02	4.05E+06
楼上办公室	3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	1.18E-03	4.05E+06	2.37E-05
楼下(变电所)	2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.31E-03	4.05E+06	4.64E-05

表 11-19 二层内镜中心中 C 各关注点散射辐射剂量率估算结果

关注点位置描述	ds (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态剂量率 (μGy/h)
西侧 防护门(患者通道)	3.0	4	3.69 E-07	2.02E+08	3.45E-02	4.05E+06	6.92E-04
西侧 墙外(患者通道)	3.0	4	3.69 E-07	2.02E+08	3.45E-02	4.05E+06	6.92E-04
北侧 墙外(留观室、更衣室)	2.8	4	3.69E-07	2.02E+08	3.96E-02	4.05E+06	7.95E-04

续表 11-19 二层内镜中心中 C 各关注点散射辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		ds (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
东侧	防护门外	4.0	4	3.69E-07	2.02E+08	1.94E-02	4.05E+06	3.89E-04
	观察窗外 (控制室)	3.0	4	3.69E-07	2.02E+08	3.45E-02	4.05E+06	6.92E-04
	墙外(控制 室)	3.0	4	3.69E-07	2.02E+08	3.45E-02	4.05E+06	6.92E-04
南侧	墙外(办公 室、周转 库)	2.8	4	3.69E-07	2.02E+08	3.96E-02	4.05E+06	7.95E-04
楼上(办公区、值 班室)		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	1.18E-03	4.05E+06	2.37E-05
楼下(走道、DR机 房、MRI 机房)		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.31E-03	4.05E+06	4.64E-05

表 11-20 四层杂交手术室 DSA 各关注点散射辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		ds (m)	X (mm)	透射因子 B	H ₀ (采集) (μGy/h)	采集状态 剂量率 (μGy/h)	H ₀ (透视) (μGy/h)	透视状态 剂量率 (μGy/h)
西侧	防护门外 (控制室)	5.8	4	3.69 E-07	2.02E+08	9.24E-03	4.05E+06	1.85E-04
	观察窗口外 (控制台)	5.8	4	3.69 E-07	2.02E+08	9.24E-03	4.05E+06	1.85E-04
	墙外(设备 间、UPS 间)	4.4	4	3.69E-07	2.02E+08	1.60E-02	4.05E+06	3.22E-04
南侧	墙外(走 廊)	4.5	4	3.69E-07	2.02E+08	1.53E-02	4.05E+06	3.08E-04
	防护门外 (走廊)	4	4	3.69E-07	2.02E+08	1.11E-02	4.05E+06	2.22E-04
东侧	防护门外 (走廊)	6.5	4	3.69E-07	2.02E+08	7.35E-03	4.05E+06	1.47E-04
	墙外(走 廊)	4.3	4	3.69E-07	2.02E+08	1.68E-02	4.05E+06	3.37E-04
北侧	墙外(DR机 房)	6.7	4	3.69E-07	2.02E+08	6.92E-03	4.05E+06	1.39E-04
楼上(净化机房)		3.5	5	1.72E-08	2.02E+08	1.18E-03	4.05E+06	2.37E-05
楼下(药品、物品 库)		2.5	5	1.72E-08	2.02E+08	2.31E-03	4.05E+06	4.64E-05

(3) 附加年有效剂量估算

① 估算方法

人员受到的附加年有效剂量可按下式计算。

$$H_W = H_R \times K \times T \times t \quad \dots\dots\text{公式(6)}$$

式中：H_w——年受照剂量；

H_R——计算点附加剂量率，μGy/h；

K——有效剂量与吸收剂量换算系数，取 1Sv/Gy；

T——人员居留因子，职业人员全居留取 1，公众人员部分居留取 1/4；

t——年曝光时间，h/a。

② 各关注点附加剂量率估算结果

本项目防护门、观察窗、四周墙体、楼上和楼下等关注点人员受到的附加年有效剂量率估算见表 11-21~表 11-25。

表 11-21 一层介入手术室 DSA1 各关注点累积辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		H(采集) (μGy/h)	年工 作时 间(h)	H(透视) (μGy/h)	年工 作时 间(h)	换算 系数 Sv/Gy	居留 因子	年剂量 (mSv)	年剂量 限值 (mSv)
西 侧	墙外（患者 通道）	3.54E-02	25	7.09E-04	125	1	1/4	2.43E-04	0.25
北 侧	墙外（患者 通道）	3.14E-02	25	6.27E-04	125	1	1/4	2.16E-04	0.25
	防护门外	1.82E-02	25	3.65E-04	125	1	1/4	1.25E-04	0.25
东 侧	防护门外	1.60E-02	25	3.22E-04	125	1	1/4	1.10E-04	5
	观察窗外 (控制室)	1.90E-02	25	3.81E-04	125	1	1/4	1.31E-04	5
	墙外（机 房）	1.60E-02	25	3.22E-04	125	1	1/4	1.10E-04	0.25
南 侧	防护门外	1.74E-02	25	3.50E-04	125	1	1/4	1.20E-04	0.25
	墙外（污物 通道）	2.97E-02	25	5.96E-04	125	1	1/4	2.04E-04	0.25
楼上（办公室、值 班室）		4.45E-03	25	2.94E-05	125	1	1	4.02E-05	0.25
楼下变电所		2.87E-03	25	5.75E-05	125	1	1/4	1.97E-05	0.25

表 11-22 一层介入手术室 DSA2 各关注点累积辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		H(采集) (μGy/h)	年工 作时 间(h)	H(透视) (μGy/h)	年工 作时 间(h)	换算 系数 Sv/Gy	居留 因子	年剂量 (mSv)	年剂量 限值 (mSv)
东 侧	墙外 DSA3 (室)	2.81E-02	25	5.64E-04	125	1	1/4	1.93E-04	0.25
北 侧	墙外（患者 通道）	3.14E-02	25	6.31E-04	125	1	1/4	2.16E-04	0.25
	防护门外	1.90E-02	25	3.81E-04	125	1	1/4	1.31E-04	0.25

表 11-22 一层介入手术室 DSA2 各关注点累积辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		H(采集) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工 作时 间(h)	H(透视) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工 作时 间(h)	换算 系数 Sv/Gy	居留 因子	年剂量 (mSv)	年剂量 限值 (mSv)
西侧	防护门外	1.54E-02	25	3.09E-04	125	1	1	4.24E-04	5
	观察窗外 (控制室)	1.90E-02	25	3.81E-04	125	1	1	5.23E-04	5
	墙外(机 房)	1.54E-02	25	3.09E-04	125	1	1/4	1.06E-04	0.25
南侧	防护门外	1.74E-02	25	3.50E-04	125	1	1/4	1.20E-04	0.25
	墙外(污物 通道)	2.97E-02	25	5.96E-04	125	1	1/4	2.77E-04	0.25
楼上(污洗室、更衣室)		1.46E-03	25	2.94E-05	125	1	1/4	1.90E-05	0.25
楼下(变电所)		2.87E-03	25	5.75E-05	125	1	1/4	1.97E-05	0.25

表 11-23 一层介入手术室 DSA3 各关注点累积辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		H(采集) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工 作时 间(h)	H(透视) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工 作时 间(h)	换算 系数 Sv/Gy	居留 因子	年剂量 (mSv)	年剂量 限值 (mSv)
西侧	墙外(DSA2 室)	3.14E-02	25	6.31E-04	125	1	1/4	2.16E-04	0.25
北侧	墙外(患者 通道)	3.14E-02	25	6.31E-04	125	1	1/4	2.16E-04	0.25
	防护门外	1.82E-02	25	3.65E-04	125	1	1/4	1.25E-04	0.25
东侧	防护门外	1.60E-02	25	3.22E-04	125	1	1	4.40E-04	5
	观察窗外 (控制室)	1.90E-02	25	3.81E-04	125	1	1	5.23E-04	5
	墙外(机 房)	1.60E-02	25	3.22E-04	125	1	1/4	1.10E-04	0.25
南侧	防护门外	2.41E-02	25	4.83E-04	125	1	1/4	1.66E-04	0.25
	墙外(污物 通道)	2.97E-02	25	5.96E-04	125	1	1/4	2.04E-04	0.25
楼上办公室		1.46E-03	25	2.94E-05	125	1	1	4.02E-05	0.25
楼下(变电所)		2.87E-03	25	5.75E-05	125	1	1/4	1.97E-05	0.25

表 11-24 二层内镜中心中 C 各关注点累积辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		H(采集) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工 作时 间(h)	H(透视) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工 作时 间(h)	换算 系数 Sv/Gy	居留 因子	年剂量 (mSv)	年剂量 限值 (mSv)
西侧	防护门外 (患者通道)	4.28E-02	25	8.58E-04	125	1	1/4	2.94E-04	0.25
	墙外 (患者通道)	4.28E-02	25	8.58E-04	125	1	1/4	2.94E-04	0.25
北侧	墙外(留观 室、更衣室)	4.91E-02	25	9.85E-04	125	1	1/4	3.38E-04	0.25
东侧	防护门外	2.41E-02	25	4.83E-04	125	1	1	6.63E-04	5
	观察窗外 (控制室)	4.28E-02	25	8.58E-04	125	1	1	1.18E-03	5
	墙外 (控制室)	4.28E-02	25	8.58E-04	125	1	1	1.18E-03	5

续表 11-24 二层内镜中心中 C 各关注点累积辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		H(采集) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工作 时间(h)	H(透视) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工作 时间 (h)	换算 系数 Sv/Gy	居留 因子	年剂量 (mSv)	年剂量 限值 (mSv)
南侧	墙外(办公室、周转库)	4.91E-02	25	9.85E-04	125	1	1	1.35E-03	0.25
楼上(办公区、值班室)		1.46E-03	25	2.94E-05	125	1	1	4.02E-05	0.25
楼下(走道、DR 机房、MRI 机房)		2.87E-03	25	5.75E-05	125	1	1/4	1.97E-05	0.25

表 11-25 四层杂交手术室 DSA 各关注点累积辐射剂量率估算结果

关注点位置描述		H(采集) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工作 时间(h)	H(透视) ($\mu\text{Gy/h}$)	年工作 时间 (h)	换算 系数 Sv/Gy	居留 因子	年剂量 (mSv)	年剂量 限值 (mSv)
西侧	防护门外(控制室)	1.15E-02	25	2.30E-04	125	1	1	3.16E-04	5
	观察窗口外(控制台)	1.15E-02	25	2.30E-04	125	1	1	3.16E-04	5
	墙外(设备间、UPS 间)	1.99E-02	25	3.99E-04	125	1	1/4	1.37E-04	0.25
南侧	墙外(走廊)	1.90E-02	25	3.81E-04	125	1	1/4	1.31E-04	0.25
	防护门外(走廊)	1.37E-02	25	2.75E-04	125	1	1/4	9.42E-05	0.25
东侧	防护门外(走廊)	9.12E-03	25	1.83E-04	125	1	1/4	6.27E-05	0.25
东侧	墙外(走廊)	2.08E-02	25	4.18E-04	125	1	1/4	1.43E-04	0.25
北侧	墙外(DR 机房)	8.58E-03	25	1.72E-04	125	1	1/4	5.90E-05	0.25
楼上(净化机房)		1.46E-03	25	2.94E-05	125	1	1/4	1.00E-05	0.25
楼下(药品、物品库)		2.87E-03	25	5.75E-05	125	1	1/4	1.97E-05	0.25

③ 机房内工作人员剂量估算

本项目使用 4 台 DSA 和 1 台中 C 设备型号均待定, 最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA~250mA。类比勉县红十字医院使用 Optima IGS 330 型医用血管造影 X 射线机监测数据, 类比 DSA 设备最大管电压为 125kV、最大管电流为 1000mA, 类比设备最大管电压与该项目拟购设备一致、最大管电流接近, 类比监测条件与本次评价估算条件接近, 类比基本可行。

类比监测数据来源于《勉县红十字医院医用血管造影 X 射线机工作场所辐射环境监测报告》(XAZC-JC-2019-005), 监测数据见表 11-26。

表 11-26 类比 DSA 机房内关注点 X、 γ 辐射剂量率监测结果

点位描述		采集状态 ($\mu\text{Sv/h}$)		透视状态 ($\mu\text{Sv/h}$)	
		测值范围	均值	测值范围	均值
机房内第一操作位	铅衣外	12.88~15.12	14.00	13.38~16.00	14.67
	铅衣内	2.88~5.53	4.65	3.65~5.11	4.64

注：监测时第一操作位有 0.5mmPb 铅屏风和床侧铅挂帘防护；采集工作状态管电压：92kV，管电流：539mA；透视工作状态管电压：98kV，管电流：41mA。

分别选取机房内第一操作位铅衣内监测数据均值进行估算，机房内工作人员年有效剂量为 0.70mSv。

④ 剂量率估算结果分析

由表 11-21~表 11-25 可知，本项目在正常运行期间，采集模式下机房外各关注点处辐射剂量率为 $(1.46 \times 10^{-3} \sim 4.91 \times 10^{-2}) \mu\text{Gy/h}$ ；透视模式下机房外各关注点处辐射剂量率为 $(2.94 \times 10^{-5} \sim 9.85 \times 10^{-4}) \mu\text{Gy/h}$ ，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) 中规定的“屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求。

DSA、中 C 机房内工作人员年有效剂量为 0.70mSv，机房控制室工作人员年有效剂量最大为 $1.18 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，均低于工作人员年剂量管理限值 5mSv；DSA、中 C 机房外活动公众年有效剂量最大为 $1.35 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ，低于公众年剂量管理限值 0.25mSv，个人剂量估算结果均可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中个人剂量限值要求。

3、废气环境影响分析

根据《X 射线工作场所臭氧氮氧化物浓度监测》(郝海鹰、刘容、王玉海编著) 及《X 射线工作场所空气中臭氧氮氧化物浓度调查》(张大薇编著) 资料显示，医院射线装置工作场所臭氧浓度范围为 $0.010 \sim 0.137 \text{mg/m}^3$ 、氮氧化物浓度范围为 $0.010 \sim 0.103 \text{mg/m}^3$ 。

本项目医用血管造影 X 射线摄线系统工作场所已安装系统，风口位于机房上方，风量为 $(15 \sim 20) \text{m}^3/\text{h}$ ，可保持良好通风，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) 中“5.6 机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风”的标准要求。

项目运行后，医用血管造影 X 射线摄线系统工作场所室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过排风装置和外界空气对流，满足《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 的二

级标准（臭氧为 $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物为 $0.25\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。因此，本项目射线装置产生的臭氧、氮氧化物对人员和周围环境影响较小。

事故影响分析

一、PET-CT

本项目 PET-CT 工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所，使用的 PET-CT 为 III 类射线装置，使用的校准源 ^{68}Ge 为 V 类密封放射源。在 PET-CT 诊疗过程中， ^{18}F 药物和 ^{68}Ge 密封源如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触的人员造成放射性损伤和环境污染；使用 PET-CT 中 CT 检查期间会产生 X 射线，对进入机房内人员产生一定辐射影响。

1、PET/CT 事故工况污染

(1) 对放射性药物 ^{18}F 管理不善，造成放射性药物丢失或被盗，人员近距离接触 ^{18}F 对其产生一定辐射影响；放射性药物包装破损造成液态放射性药物泄漏，导致场所的污染；

(2) 对仪器校准源 ^{68}Ge 管理不善，造成校准源丢失或被盗，人员近距离接触放射源对其产生一定辐射影响；

(3) 对注射放射性药物 ^{18}F 的患者管理不善，则患者体内放射性药物产生射线对其周围人员会产生一定的辐射影响；

(4) 给患者注射时，工作人员操作不当导致放射性药物 ^{18}F 撒漏操作台面、地面或其他地方，将造成工作场所的放射性表面污染，人员进行去污处理受到一定照射；撒漏液态放射性药物变成气体进入人员体内造成内照射。

(5) 在 PET-CT 开机曝光产生 X 射线时，无关人员进入机房或未离开机房，从而受到不必要的辐射照射；

(6) 防护门控制失灵或无警示标志，人员误入正运行的机房内而造成的辐射照射。

2、事故处理方法及预防措施

针对 PET-CT 可能出现的风险事故，本次评价提出处理方法或预防措施：

(1) 加强管理，防止无关人员误入机房；发生意外照射时，立即停止曝光；

(2) 加强辐射工作人员的培训，提高操作技能，严格按照操作规程进行操作；

(3) 进行放射性药物注射前，检查注射器、注射针头是否损露，减少放射性药物在注射过程中的发生滴洒的可能性；注射药物前，告知患者注意事项，使之了解放射性

药物对他人的危害；

(4) 发现放射性药物滴洒时，及时进行表面的去污处理，减轻其产生的辐射影响，如出现放射性药物泼洒，应封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

凡涉及放射性药物操作的台面，均采用易于去污及拆除的材质，当发生液态放射性药物泼洒导致的表面沾污事故时，应及时去污，如：迅速用吸附衬垫吸干泼洒液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用表面沾污仪测量污染区，如 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到去污控制标准，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。

(5) 加强对用药患者的管理，控制区设置单向门，避免用药患者在注射后候诊室以外区域随意走动；

(6) 如果发生误照射，应立即切断电源，确保 PET-CT 停止工作；

(7) 加强制度管理及增强安全意识，发现 ^{67}Ge 或 ^{18}F 放射性物质丢失、被盗应立即启动本单位辐射事故应急预案，并及时报告。

(8) 加强控制区和监督区管理，出入口设置相应的警示标志和说明，禁止无关人员进入。

(9) 控制区和监督区地面设置相应标识，人员按指示方向行进。

二、医用血管造影 X 射线摄影系统

射线装置仅在运行时产生 X 射线，停机后射线就会消失，故只有在开机状态下，射线装置产生的 X 射线才会贯穿屏蔽设施进入外环境，从而带来一定的辐射影响。医用血管造影 X 射线摄影系统运行中存在潜在危险和风险事故，本次评价对其进行分析 and 预测，说明项目在运营中可能发生的事故或突发事件对人身安全和环境的损害和影响程度，提出行之有效的防范及应急措施，以避免事故发生、减少事故损失，使其对环境的影响达到可接受的水平。

本项目可能发生的事故为射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，为一般辐射事故。

1. 事故工况

(1) 职业人员未按操作规程操作或误操作，造成事故照射；

- (2) 安全连锁、辐射防护设施等辐射安全措施失效，造成事故照射；
- (3) 检查与维护状态下，设备维修人员违反操作规程或误操作，造成事故照射。
- (4) 无警示标志或连锁失效发生故障而使无关人员进入机房造成误照射。

2、事故情况下剂量分析

本次评价假设医用血管造影 X 射线摄线系统发生事故，公众误入机房，在无任何屏蔽措施的情况下，受到透视和采集时的泄漏 X 射线照射，透视剂量率取 $4.05 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ ，采集剂量率取 $2.02 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ 。在事故情况下，透视状态距射线出口 1m 处停留 3.7min 即受到 0.25mSv 照射剂量，采集状态距射线出口 1m 处停留 4.5s 即受到 0.25mSv 照射剂量。

因此，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入工作中的医用血管造影 X 射线摄线系统手术室。

3、辐射事故预防措施

为避免辐射事故发生及辐射事故发生时能采取有效防范措施降低辐射事故的危害，该单位需做好以下预防措施：

- (1) 定期对使用放射性同位素和射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检查，确认各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患及时采取有效措施，妥善处置。

- (2) 针对单位使用放射性同位素和射线装置制定相关的操作规程，并做到“制度上墙”（即将操作规程张贴在操作室醒目位置）。工作人员严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

- (3) 定期检查安全连锁装置，确保安全连锁装置正常运行；定期对辐射工作场所的安全防护装置进行维护、保养。

- (4) 加强对工作人员的管理，医用血管造影 X 射线摄线系统开机前，必须确保无关人员全部撤离后才可开启；加强放射工作人员的业务培训，防止误操作，以避免工作人员和公众受到意外辐射。

- (5) 射线装置发生故障而紧急停机后，在未查明原因和维修结束前，不得重新启动射线装置。

(6) 调试和维修必须解除安全联锁时，需经负责人同意并通告有关人员；工作结束后，先恢复安全联锁并经确认系统正常后再行使用。

(7) 机房门外明显处应设置电离辐射警示标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

(8) 辐射应急管理机构应对本单位的应急组织人员、救护计划和方法、救护器材和设备以及联络方式进行明确布置和安排，一旦事故发生时可立即执行。

三、辐射事故应急预案

依照国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号）中的有关要求，针对可能发生的辐射事故，单位应根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，执行辐射事故应急预案。当发生辐射事故时，单位应当立即启动辐射事故应急预案，采取有效防范措施，及时制止辐射事故的进一步扩散，并在及时向当地环境保护部门和主管部门报告。

西安前海人寿医院新建PET-CT及医用射线装置项目公示版

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、辐射安全与环境保护管理机构

根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条“使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科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者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作”等有关法律法规及国家标准的要求，为了加强放射性同位素和射线装置的安全和防护的监督管理，促进放射性同位素和射线装置的安全应用，正确应对突发性辐射事故，确保事故发生后能快速有效地进行现场应急处理、处置，维护和保障工作人员和公众的生命安全和财产，该单位应成立相应的辐射安全与环境保护管理机构，辐射安全与环境保护管理机构全面负责辐射工作的管理和领导工作，统一领导、统一指挥。

辐射安全与环境保护管理机构应明确主要职责：

- (1) 贯彻执行国家辐射安全与环境保护各项法规相关文件精神；
- (2) 负责本单位辐射安全与环境保护管理；
- (3) 组织制定本单位辐射安全与环境保护管理办法，做好管理工作；
- (4) 组织人员参加辐射安全与环境保护培训；
- (5) 安排辐射工作人员参加关于辐射安全和防护的培训和考核。
- (6) 检查辐射安全设施，开展辐射安全监测，对放射性同位素和射线装置的安全与防护情况进行年度评估；
- (7) 实施辐射工作人员的健康体检和个人剂量检测工作，并做好相应资料的档案管理工作；
- (8) 定期向环保和主管部门报告辐射安全管理工作情况，接受环保部门的监督和检查。

二、人员配备与职能

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，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。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使

用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的职业人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

本项目 PET-CT 和医用血管造影 X 射线摄线系统工作人员将由医院统一配备，目前人员未定。单位应该按照计划尽快组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，并取得培训合格证书，持证上岗。组织辐射工作人员参加岗前体检，建立职业健康档案。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第六款、第七款的要求，有健全的操作规程、岗位职责、辐射安全和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等；有完善的辐射事故应急措施。

该单位应制定的辐射相关管理制度主要包括：

- (1) 放射性同位素管理、使用制度；
- (2) 放射性同位素、射线装置操作规程；
- (3) 辐射管理人员、工作人员岗位职责；
- (4) 辐射工作场所监测制度；
- (5) 辐射安全和保卫制度；
- (6) 辐射防护管理制度；
- (7) 辐射工作场所监测制度；
- (8) 辐射工作人员培训制度；
- (9) 辐射相关设备的检修维护制度；
- (10) 个人防护用品使用管理制度；
- (11) 辐射危害告知制度；
- (12) 放射性废物管理、处理制度；
- (13) 辐射事故应急预案。

建设单位在环评批复后，应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的要求，申领辐射安全许可证。

辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第五款：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，包括个人剂量测量、辐射监测等仪器。

使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划。

该单位应配备 1 台 X- γ 剂量率监测仪、1 台表面沾污监测仪，为辐射工作人员配备个人剂量计。

2、监测方案

根据该单位特点，制定辐射环境监测计划如下：

(1) 定期（不少于 1 次/年）委托有资质的单位对放射性同位素和射线装置工作场所及其周围环境的辐射水平进行监测，监测结果纳入年度评估报告，并上报环保部门备案。

(2) 利用配备的 X- γ 剂量率监测仪、表面沾污监测仪对工作场所进行定期监测，并建立监测数据档案。

(3) 辐射工作人员佩戴个人剂量计定期（每季度一次）送有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案。

(4) 辐射工作人员定期进行职业健康体检，并建立职业健康监护档案。

3、年度评估报告

每年 1 月 31 日之前，应向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的辐射安全和防护状况年度评估报告。

4、环境保护投资估算

本项目总计投资 1500 万元，其中环保投资 300 万元，占总投资的 20%，主要用于放射性同位素和射线装置工作场所的防护设施建设、个人防护用品、标志标识警示装置以及辐射监测仪器购置、放射性废物处置费用、人员培训费用等。

5、竣工环境保护验收内容及要求

根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日起实施），本项目竣工后，建设单位应按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，及时对本项目配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入生产或使用。

本项目竣工环境保护验收清单（建议）见表 12-1。

表 12-1 项目竣工环境保护验收清单（建议）

序号	项目	内容	验收效果和环境预期目标
1	辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构	成立相应的辐射安全管理机构。
2	辐射安全防护措施	安全措施	DSA、中 C 机房安装门灯联动装置、警示标志、工作指示灯运行正常；PET-CT 场所设置分区标识，地面设置行走路径标识。PET-CT 场所出入口设置醒目的电离辐射警示标志，并附文字说明。
3	人员配备	辐射防护与安全培训	辐射工作人员应参加辐射安全与防护培训，取得培训合格证书。
		个人剂量检测	辐射工作人员个人剂量计定期（每季度一次）委托有资质单位进行监测，并建立个人剂量档案。
		职业健康管理	辐射工作人员定期进行体检，并建立职业健康档案。
4	防护用品、监测仪器	个人剂量计	有与工作人员数量匹配的个人剂量计。
		个人防护用品	为 PET-CT、DSA、中 C 工作人员配备铅防护服、铅帽、铅围裙等。
		辅助防护设施	DSA、中 C 机房配备铅防护帘、床侧防护帘等辅助防护设施。放射工作场所安装通风设施，排气口高于本建筑屋脊。注射台配备吸水纸类物品。
		放射性废物	在注射室、注射后候诊室、留观室内配置带铅防护垃圾桶，垃圾桶外张贴电离辐射警示标识。注射药物患者设置专用卫生间。配套建设衰变池和废物间。放射性固体废物分类收集存放于废物间，废物包装体外注明核素、收集时间、处理时间等相关信息。建立放射性废物管理台账。
		辐射环境监测仪器	配备 X、 γ 辐射监测仪器、表面污染监测仪，并定期检定，建立监测数据档案。
5	监测限值要求	个人剂量监测	工作人员年有效剂量低于年剂量管理限值 5mSv，公众年有效剂量低于年管理限值 0.25mSv。
		PET-CT 工作场所表面污染控制水平	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平。
		DSA、中 C 机房屏蔽体外辐射剂量率限值	机房屏蔽体外 0.3m 处辐射剂量率满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）中规定的屏蔽体外表面 0.3m 处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h 的标准限值。
6	辐射环境管理	健全辐射环境管理制度，并认真贯彻执行	制定放射性同位素管理、使用制度，放射性同位素、射线装置操作规程，辐射管理人员、工作人员岗位职责，辐射工作场所监测制度，辐射安全和保卫制度，辐射防护管理制度，辐射工作场所监测制度，辐射工作人员培训制度，辐射相关设备的检修维护制度，个人防护用品使用管理制度，辐射危害告知制度，放射性废物管理、处理制度，辐射事故应急预案等规章制度。

辐射事故应急

为有效防护、及时控制辐射事故所致的伤害，加强放射性同位素和射线装置安全管理，保障辐射相关工作人员和公众人员的健康安全，使环境受到辐射污染程度控制在标准允许范围之内。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）及其其它相关法律、法规的规定和管理部门要求，该单位应建立《辐射事故应急预案》。

应急预案主要包括下列内容：

- (1) 可能发生的辐射事故及危害程度分析；
- (2) 应急组织指挥体系和职责分工；
- (3) 应急人员培训和应急物资准备；
- (4) 辐射事故应急响应措施；
- (5) 辐射事故报告和处理程序。

对突发辐射事故，该单位需坚持以预防为主，常备不懈的方针，建立和加强相应的监测、应急制度，做到及时发现、及时报告、快速反应、及时控制。同时应具备应急响应机制和应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。应从经费、物资、人员和专业技术人员方面做好准备工作，定期进行培训以备应急时之需要。在辐射事故应急预案的实施过程中，根据新的相关法律法规内容，结合检查工作的实际情况对应急预案做补充修改，使之更能符合辐射实际需要。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

西安前海人寿医院计划建于西安市浐灞生态区新岛路以东、香湖湾二路以南区域。新建 PET-CT 及医用射线装置核技术利用项目包含放射性同位素 ^{18}F 、PET-CT 工作场所（核医学科）和医用血管造影 X 射线摄线系统两部分内容。

放射性同位素 ^{18}F 、PET-CT 工作场所位于拟建医疗综合楼地下一层， ^{18}F 日等效操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年用量为 $1.70 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。PET-CT 属于 III 类射线装置，并计划配备 3 枚 V 类 ^{68}Ge 密封校准源（2 枚 $4.625 \times 10^7 \text{Bq}$ 、1 枚 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ ）。3 台 DSA 及其机房位于一层介入手术室，1 台 DSA 及其机房位于四层杂交手术室，1 台中 C 及其机房位于二层内镜中心。

本项目总计投资 1500 万元，其中环保投资 300 万元，占总投资的 20%。

2、本项目选址及平面布置合理性分析

本项目中 ^{18}F 和 PET-CT 位于医疗综合楼地下一层，西侧和南侧为地下停车区域，北侧为制冷机房和药库，东侧为配电所、油机房。本项目医用血管造影 X 射线摄线系统机房位于一层介入手术室、二层内镜中心、四层杂交手术室。位置相对独立且封闭，人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素，选址和平面布置基本合理。

3、实践正当性结论

为了更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，本项目开展所带来的利益远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

4、辐射环境影响评价结论

(1) PET-CT 工作场所

通过对本项目中 ^{18}F 使用场所（储存室、注射室）、注射药物患者活动场所（注射后候诊室、PET-CT 机房、留观室）周围辐射剂量率估算，辐射工作人员年有效剂量为（1.1817~4.1667）mSv，公众年有效剂量为（0.0143~0.2262）mSv，均低于工作人员、公众年剂量管理限值和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的相关剂量限值要求。 ^{68}Ge 校准源为 V 类放射源，退役后由厂家回收处置。

医院拟在地下二层建造一个三级衰变池（留观室下方位置），内设 3 个 6m^3 的衰变池；衰变池采用混凝土机构并做防渗漏和耐酸碱处理，衰变池前端设计有化粪池，末端设计有缓冲池；产生的放射性废水经专用管道排入衰变池内，放射性废水暂存 39 个半衰期以上，经衰变池处理后排入医院废水处理站，最终排入市政污水管网。放射性固体废物暂存于废物间，放置 13 个半衰期以上（约 24h）后作为一般医疗废物处理。本项目计划设置放射性废水和放射性固体废物处理设施可以有效处理该项目产生的放射性废物，对环境产生辐射影响可以控制在标准允许范围之内。

(2) 医用血管造影 X 射线摄影系统机房

经理论估算分析本项目 4 台 DSA、1 台中 C 机房外关注点辐射剂量率最大为 $4.91 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）中规定的“屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求。通过类比分析该项目 DSA、中 C 工作人员年有效剂量最大为 0.7mSv ，公众年有效剂量最大为 $1.35 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，均低于工作人员、公众年剂量管理限值和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的相关剂量限值要求。

5、辐射安全管理

本项目建成投入运行前，建设单位应成立相应的辐射安全管理机构，制定相关辐射安全和管理制度，做好人员培训及健康管理。放射性工作场所设置相应标识、指示灯、门灯联锁装置、通风设施等。应配备 X- γ 剂量率和表面污染监测仪器和防护用品，制定日常监测制度，定期对辐射工作场所进行监测，并建立监测档案。本项目辐射工作人员应配备个人剂量计，建立个人剂量档案。

6、可行性分析结论

综上所述，西安前海人寿医院有限公司在严格执行国家相关法律、法规及相关标准的要求，切实落实本报告表中提出的污染防治措施和建议后，该项目对放射性工作人员和公众产生的辐射影响可以控制在国家标准允许的范围之内。从环境保护和辐射防护角度分析，该项目是可行的。

建议和要求

1、项目竣工后建设单位应按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对本项目配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，经验收合格后方可投入运行。

2、项目建成运行后，应严格执行辐射环境监测制度，每年对放射性同位素和射线装置应用的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证颁发部门报送上一年度辐射安全年度评估报告。

3、定期对放射工作人员进行个人剂量检测和健康体检，对个人剂量检测报告、体检报告中出现问题、异常数据及时查明原因，采取有效措施妥善处理，并存档备查。

4、应加强对工作人员和公众成员辐射防护知识的宣传教育，提高自身安全防护意识，避免辐射事故的发生。

5、定期检查门灯联动装置、指示灯，确保其处于正常的工作状态，发现标识缺损及时更换。

6、应加强对工作人员的辐射安全培训工作，在进行放射性同位素操作和介入手术时，医护人员必须穿戴防护用品，以合理有效的降低并减少受照射剂量。

7、购买密封放射源时与厂家签订回收协议，放射源不再使用或无法满足使用要求时联系厂家回收处置。

8、严格按照《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设工作项目表》要求落实相关内容，不断完善辐射事故应急预案，加强日常演练，做到有备无患。

表 14 审批

预审意见:

经办人:

单位公章

年 月 日

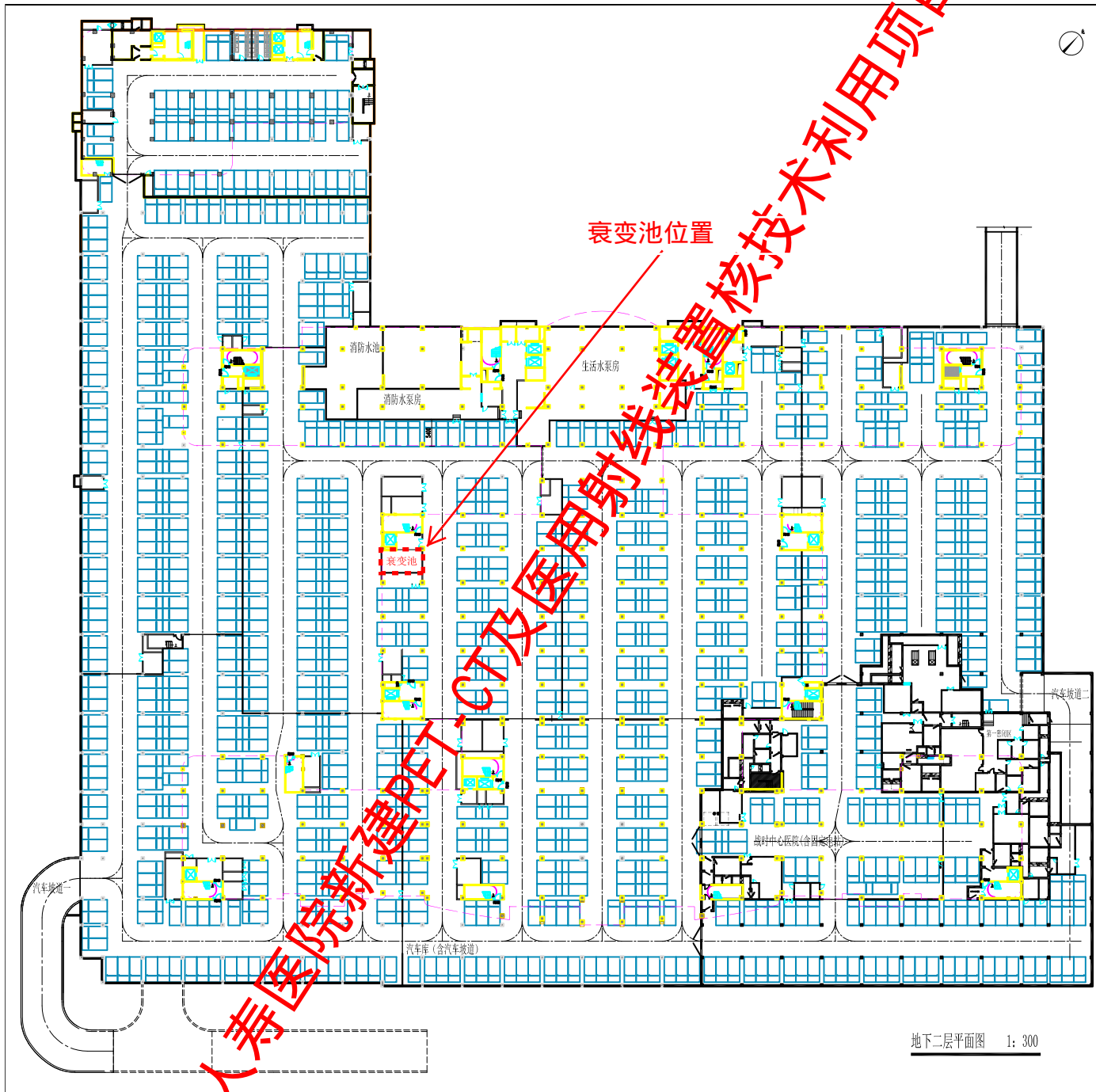
下一级环境保护行政主管部门审查意见:

经办人:

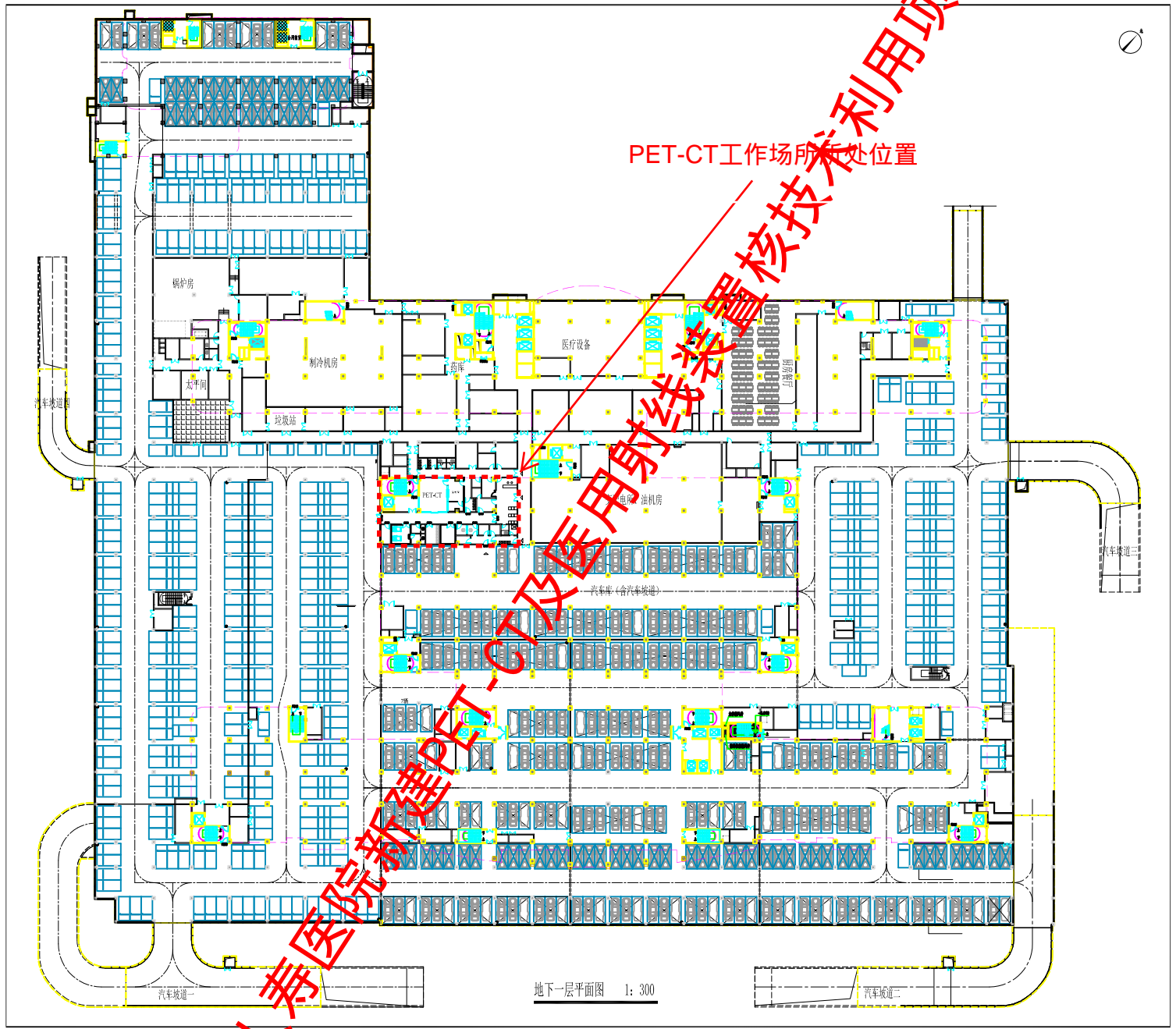
单位公章

年 月 日

西安前海人寿医院新建PET-CT及医用射线装置核技术利用项目公示版



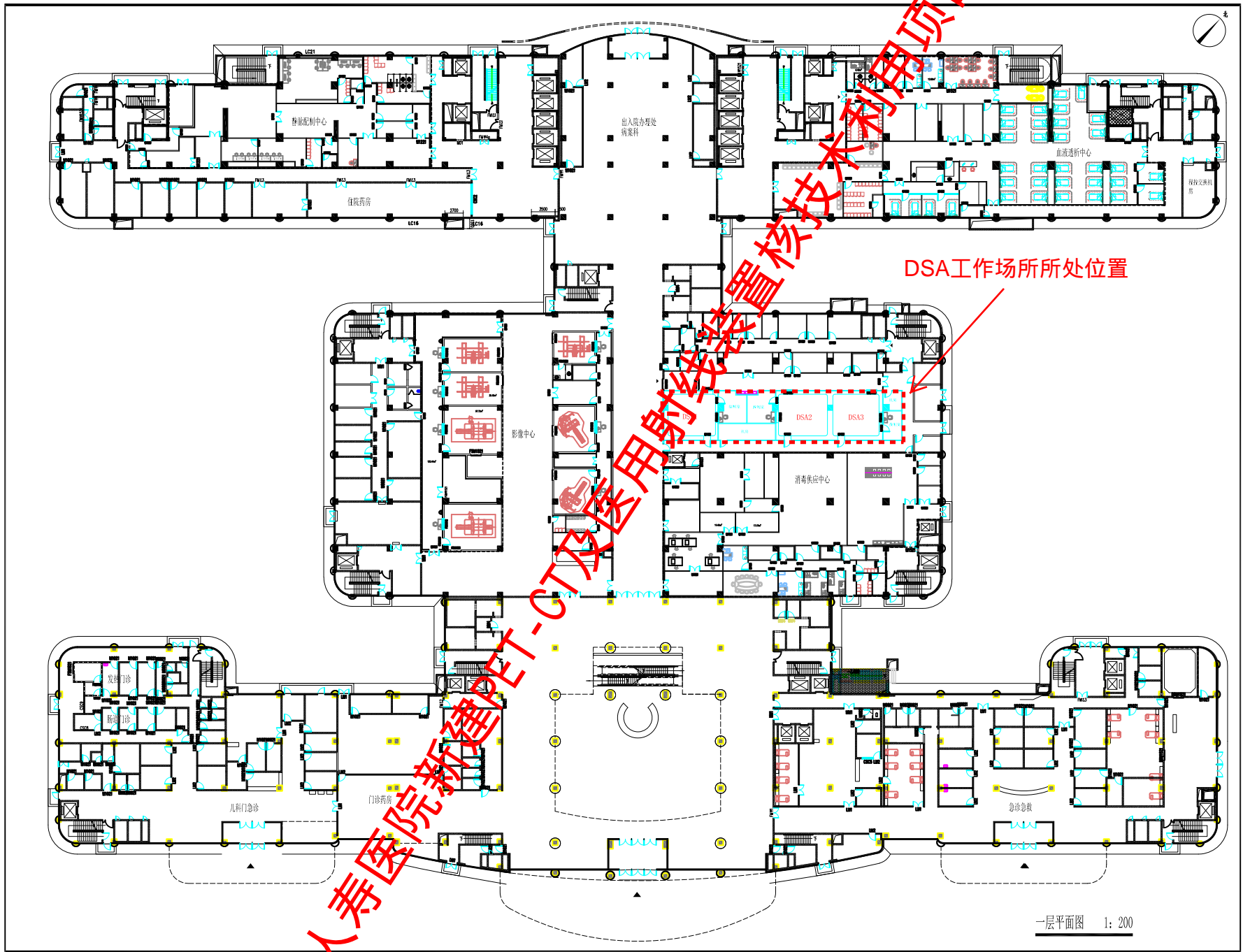
附图1 地下二层平面布置示意图



PET-CT工作场所新处位置

地下一层平面图 1:300

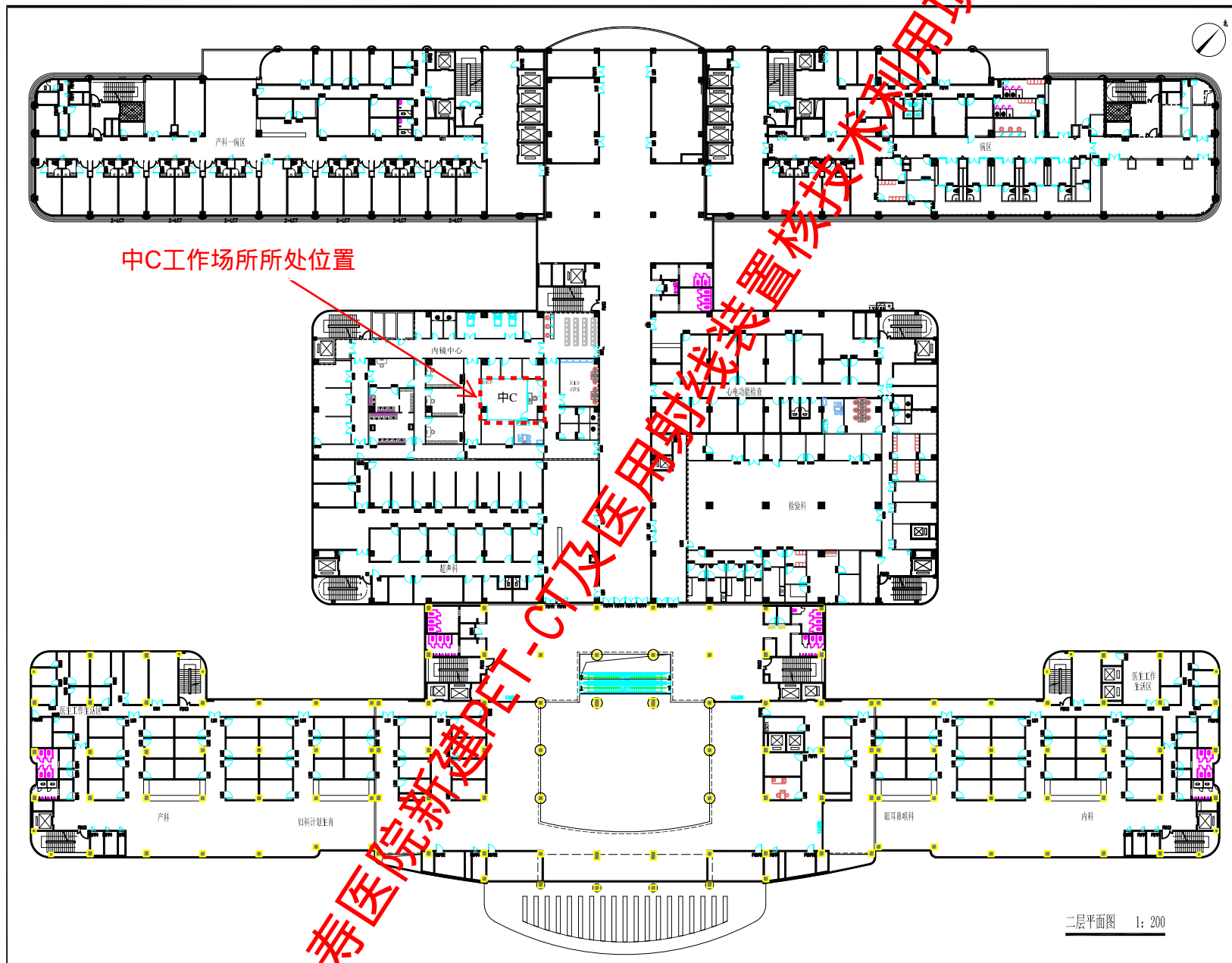
附图2 地下一层平面布置示意图



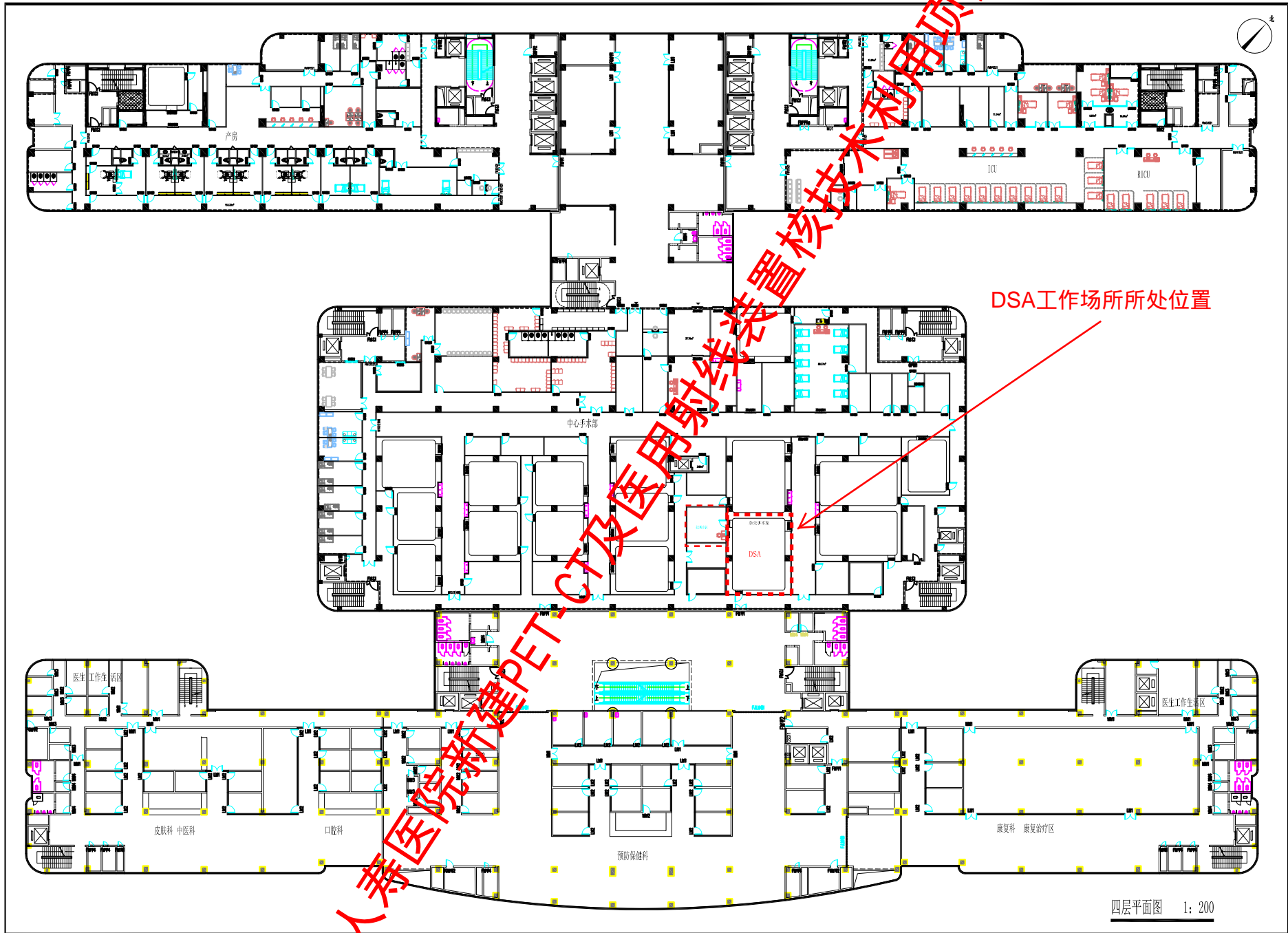
DSA工作场所所处位置

一层平面图 1:200

附图3 一层平面布置示意图



附图4 二层平面布置示意图



DSA工作场所所处位置

四层平面图 1:200

附图5 四层平面布置示意图

西安浐灞生态区发展和改革局文件

西浐灞发改发〔2017〕42号

西安浐灞生态区发展和改革局 关于西安华康医院项目备案内容变更的通知

西安前海人寿医院有限公司：

你单位申请办理的《关于西安华康医院项目等变更事项的备案申请》（西前医字〔2017〕1号）收悉，经发展和改革局审查办理，结果如下：

同意该项目建设单位由“西安华康医院有限公司”变更为“西安前海人寿医院有限公司”；项目名称由“西安华康医院”变更为“西安前海人寿医院”。其他内容按照《关于华康医院项目备案的通知》（西浐灞发〔2016〕47号）执行。

西安浐灞生态区发展和改革局

2017年6月22日



西安前海人寿医院新建PET-CT及医用射