

核技术利用建设项目

正电子发射断层扫描仪（PET-CT）项目

环境影响报告表

仅供安康PET-CT项目报批使用

安康东七体检医院有限公司

2021年2月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

正电子发射断层扫描仪（PET-CT）项目

环境影响报告表

仅供安康PET-CT项目报批使用

建设单位名称：安康东七体检医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：陕西省安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路 155 号

邮政编码：725000

联系人：李蕊君

电子邮箱：779069137@qq.com

联系电话：15129929068

表 1 项目概况

建设项目名称		正电子发射断层扫描仪（PET-CT）项目			
建设单位		安康东七体检医院有限公司			
法人代表	赵红	联系人	李蕊君	电话	15129929068
注册地址		陕西省安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路 155 号			
项目建设地点		安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路 155 号（三桥南头）			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		1200	环保投资（万元）	150	投资比例 12.5%
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 ） 300
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
		<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		
	其他	/			
<p>项目概况~结论与建议</p> <p>1.项目背景</p> <p>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，安康东七体检医院有限公司拟租赁安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路 155 号 1 号楼北一至三层建设“安康东七体检中心”，该体检中心一层拟设置分子影像科，使用 1 台正电子发射断层扫描仪（PET-CT）及放射性核素 ¹⁸F 进行显像检查。本次仅针对该分子影像科进行评价。</p> <p>2、工作过程概述</p> <p>依据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，本项目需要进行环境影响评价，本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理</p>					

名录》(2021年版)中“五十五、核与辐射”、“172、核技术利用建设项目”中“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”中的丙级非密封放射性物质工作场所,需要编制环境影响报告表。2020年11月安康东七体检医院有限公司正式委托西安海蓝环保科技有限公司承担该项目的环评工作。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,编制了安康东七体检医院有限公司《正电子发射断层扫描仪(PET-CT)项目环境影响报告表》。

3、实践正当性评价

安康东七体检医院有限公司的“安康东七体检中心”使用1台正电子发射断层扫描仪(PET-CT)及放射性核素 ^{18}F 进行显像检查,项目建成后可提高体检中心对疾病的诊断能力,更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的体检需要,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)“实践正当性”的原则。

4、单位简介

安康东七体检医院有限公司拟建设的“安康东七体检中心”为1家集安翰磁控胶囊胃镜、128层螺旋CT、核磁共振、GE原装进口四维彩超、流动体检车、移动CT/钼靶车等大型医疗设备于一体的专业体检中心。

安康东七体检中心位于安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路155号(三桥南头)西侧,基础设施齐全,以“东七体检、体检首选”为目标,以省城4家大型专业体检中心为依托和榜样,以“一流的体检团队、先进的体检设备、数字化的体检软件、科学化的体检项目及全程化的体检服务”等五大特色,努力打造安康首家正规化、专业化、数字化、标准化、流程化的专业体检中心。

安康东七体检中心地理位置见图1-1。



图 1-1 安康东七体检中心地理位置示意图

5、项目建设规模与内容

(1) 建设规模

安康东七体检医院有限公司拟在安康东七体检中心一楼设置分子影像科，建设内容包括：新建 1 间 PET-CT 扫描室、贮源室、分装注射室、注射休息区等功能房间，新增 1 台 PET-CT 机，使用放射性同位素 ^{18}F 进行显像检查。

该项目使用放射性同位素与射线装置如下：

① 密封放射源

^{68}Ge 放射源：该项目新增的 1 台 PET-CT 机，拟配备 1 枚 V 类 ^{68}Ge 放射源，用于 PET-CT 图象融合的精度、晶体均一性等指标校正，放射源具体参数见表 1-1。

表 1-1 分子影像科 PET-CT 拟配备的校准源

核素名称	出厂活度 (Bq)	数量 (枚)	半衰期	分类	备注
^{68}Ge	$7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	1	288d	V 类源	使用

② 非密封放射源

本项目使用的非密封放射性物质为 ^{18}F ， ^{18}F 发生电子对湮灭效应时，产生能量为 511keV 的 γ 射线，可用作 PET-CT 显像。本项目放射性同位素用量情况见表 1-2。

表 1-2 分子影像科使用放射性同位素用量情况

核素名称	每次操作量 (Bq)	每天最大受检者人数	年工作天数	核素最大年用量	用途
¹⁸ F	3.56×10 ⁸	5 人	260 天	4.63×10 ¹¹	PET-CT 扫描室显像

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 中“非密封源工作场所的分级要求”，使用以下公式计算日等效最大操作量，确定其工作场所等级。

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{日实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C，确定 ¹⁸F 的核素毒性权重因子为 0.01，见表 1-3。

表 1-3 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	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C，确定工作场所的操作方式因子为 1，见表 1-4。

表 1-4 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	操作性质修正因子			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液，悬 浮液	表面有污染的固 体	气体，蒸汽，粉 末，压力很高的 液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据建设单位提供的核素日最大操作量进行判定，本项目分子影像科工作场所等级为丙级，计算结果见表 1-5。

表 1-5 分子影像科工作场所分级计算结果

工作场所	分子影像科
核素名称	¹⁸ F
日最大操作量 (Bq)	1.78×10 ⁹
毒性分组	低毒
毒性组别修正因子	0.01

性状	液体
操作方式	简单操作
方式与状态修正因子	1
日等效最大操作量 (Bq)	1.78×10^7
工作场所级别	丙级

③ 射线装置

本项目配备 1 台 PET-CT 机，其图像分辨率高，可发现细微的解剖图像，属于 III 类射线装置。拟建 PET-CT 扫描室长 7.34m，宽 5.04m，高 3.2m。PET-CT 设备参数见表 1-6。扫描室防护能力见表 1-7。

表 1-6 PET-CT 设备参数

设备名称	设备型号	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流(mA)	射线装置类别
PET-CT	uMI550	1	140	420	III类

表 1-7 PET-CT 扫描室的防护参数

项目	扫描室防护材料及厚度
扫描室	7.34m×5.04m，面积 36.99m ² ，高 3.2m
四周墙体	370mm 实心砖墙+50mm 硫酸钡涂料
屋顶	空心楼板+50mm 硫酸钡涂料
扫描室防护门	10mmPb
操作室防护门	10mmPb
观察窗	42mm 铅玻璃
地面	压实土层

(2) 工作人员及工作时间

根据体检中心提供的资料：单个患者的用药分装操作时间约 10min，转运至注射窗前约 2min，显像检查时每人约 8~15min；病人在注射窗注射药物每次 1~2min。分子影像科工作人员 10 人，目前人员名单未定。单位将在上岗前按照计划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。同时将组织辐射工作人员参加岗前体检，建立职业健康档案。

6、项目选址及布局合理性

新建的分子影像科位于安康东七体检中心一楼，体检中心西侧为道路，北侧和南侧均为三桥建材市场商铺，东侧为建材市场内部通道，四邻关系见图 1-2。项目建设地点与建材市场相互独立，且分子影像科开门方向向道路侧，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。

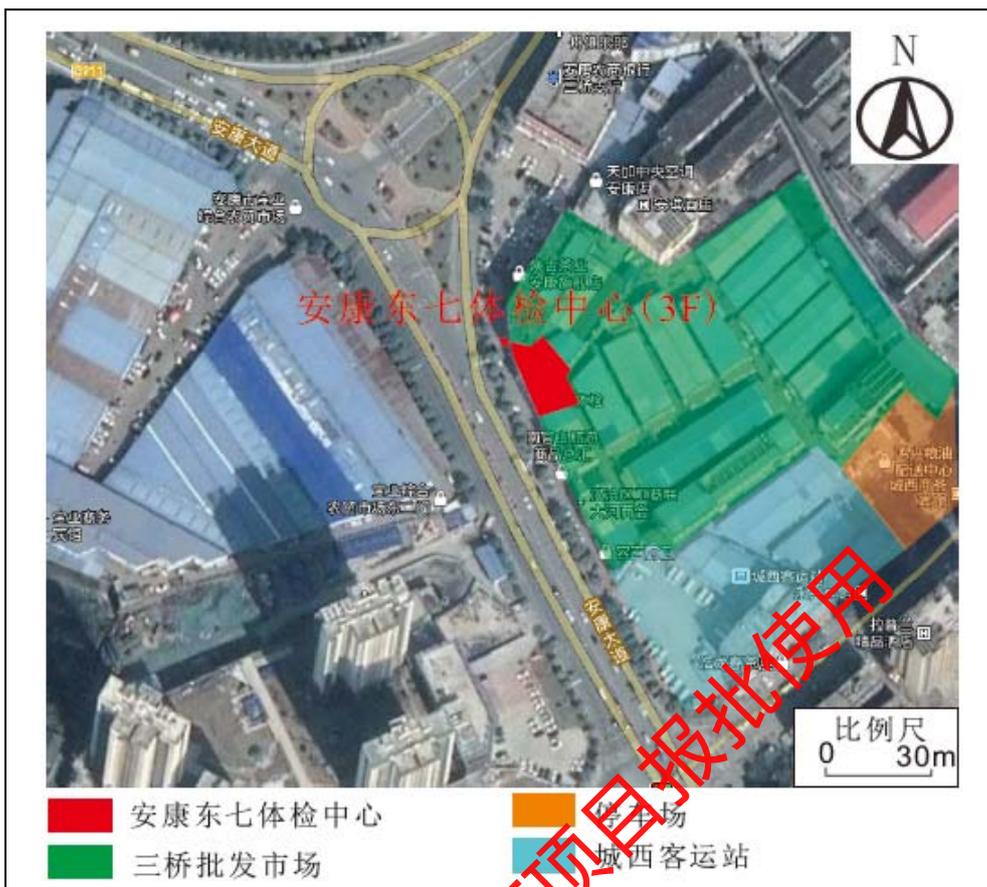


图 1-2 安康东七体检中心四邻关系图

本次新建的分子影像科位于体检中心一楼，基本可分为放射性工作区和非放射性办公区 2 个区域，南边非放射性工作区包括工作人员办公室、护士更衣室、接待大厅。北边放射性工作区包括贮源室、PET-CT 扫描室、注射休息区、分装注射室等，且放射性工作区与非放射性工作区有防护门相隔离。患者从分子影像科西侧接待大厅大门进入，通过等待区防护门进入放射性工作区，随着诊断流程结束后，从分子影像科西侧留观抢救室大门离开，布局合理。体检中心一楼分子影像科平面布局见图 1-3。体检中心二楼平面布局图见图 1-4。

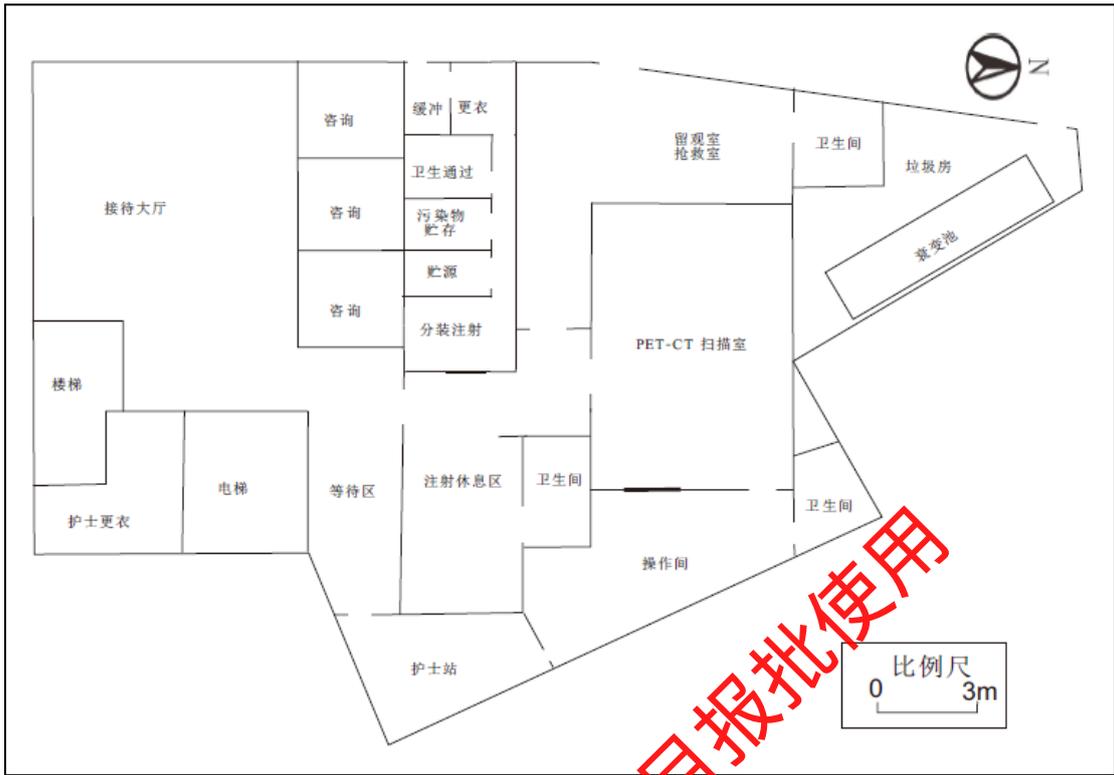


图 1-3 安康东七体检中心一楼分子影像科平面布局图

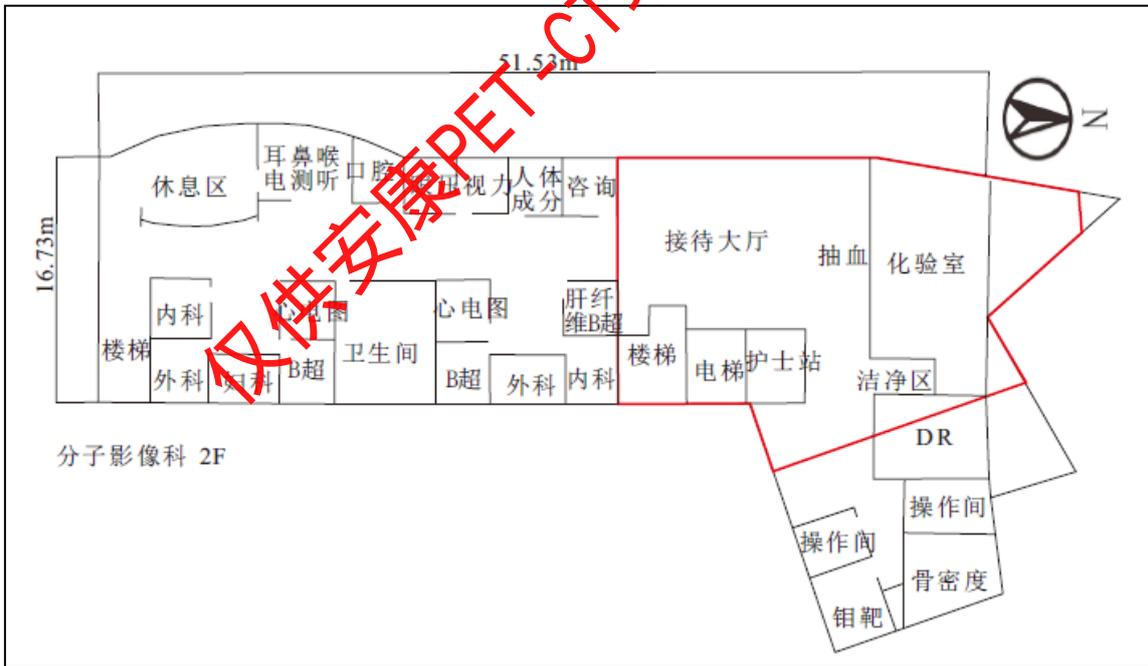


图 1-4 安康东七体检中心二楼平面布局图

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	7.4×10 ⁷ Bq/ 7.4×10 ⁷ Bq×1	V类	使用	校准	PET-CT扫描室	贮源室	质控源
								/

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	1.78×10 ⁹	1.78×10 ⁷	4.63×10 ¹¹	显像检查	简单操作	分子影像科	贮源室
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	PET-CT 机	III	1 台	uMI550	140	420	医用诊断和病症评估	PET-CT 扫描室	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (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	/	/	/	/	污染物贮存室	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	3.56×10 ⁸ Bq/天	4.55m ³	54.6 m ³	远低于 1Bq/L	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	排入建材市场化粪池
放射性固体废物（废注射器、废手套、废活性炭滤芯等）	固体	¹⁸ F	1.78×10 ⁷ Bq/天	5.83kg	70kg	<7.4 Bq/g	分类收集暂存于污染物贮存室，暂存 1 天，约 13 个半衰期以上	作为一般医疗废物处理
放射性废气	气体	¹⁸ F	/	/	/	/	/	经活性炭吸附后，通过专用管道排放，排出口高于本建筑屋脊
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，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 kg。

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L，或 Bq/kg，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 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（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 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》（修订），国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（修改），生态环境部令 7 号，2019 年 8 月 22 日；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令 18 号，2011 年 5 月 1 日；</p> <p>(9) 《关于发布<放射源分类办法>的公告》，国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日；</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 6 日；</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》（2019 年修正），2019 年 11 月 6 日；</p> <p>(13) 《陕西省生态环境厅办公室关于印发<陕西省生态环境厅辐射类建设项目行政许可事项办理指南>的通知》（陕环办发〔2020〕29 号）；</p> <p>(14) 《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 号文。</p>
-------------	--

<p>技 术 标 准</p>	<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) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020);</p> <p>(7) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020);</p> <p>(8) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009)。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 安康东七体检医院有限公司正电子发射断层扫描仪(PET-CT)项目环境影响评价委托书, 2020年11月;</p> <p>(2) 建设单位、设计单位提供的相关资料。</p>

仅供安康PET-CT项目报批使用

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”。

本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 III 类射线装置,评价范围为放射性同位素使用场所周围 50m 区域。该项目评价范围见图 7-1。

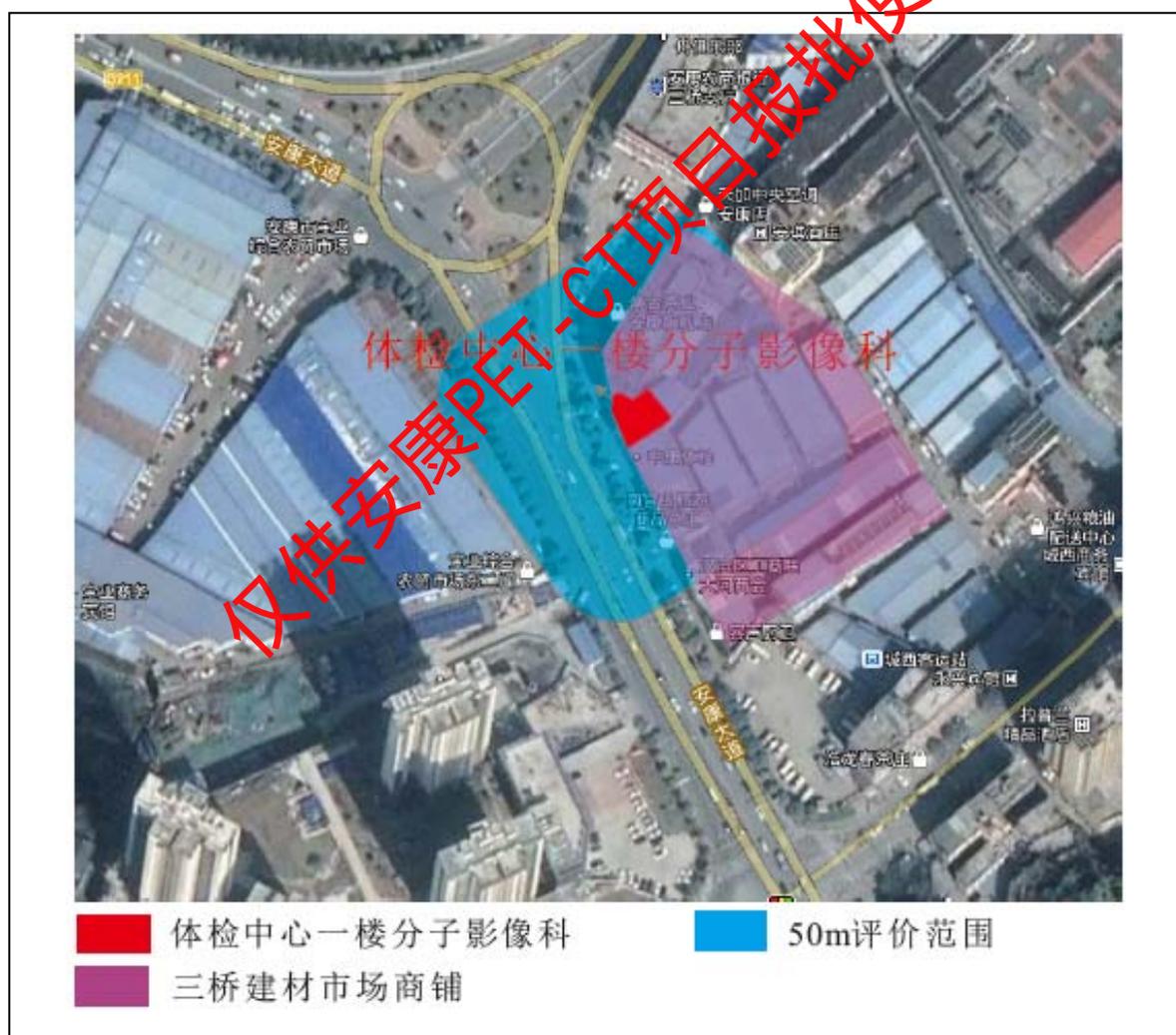


图 7-1 新建分子影像科评价范围图

保护目标

本项目环境保护目标主要为从事 PET-CT 相关操作的工作人员、工作场所周围其他工作人员及公众。环境保护与控制目标见图 7-2 和表 7-1。

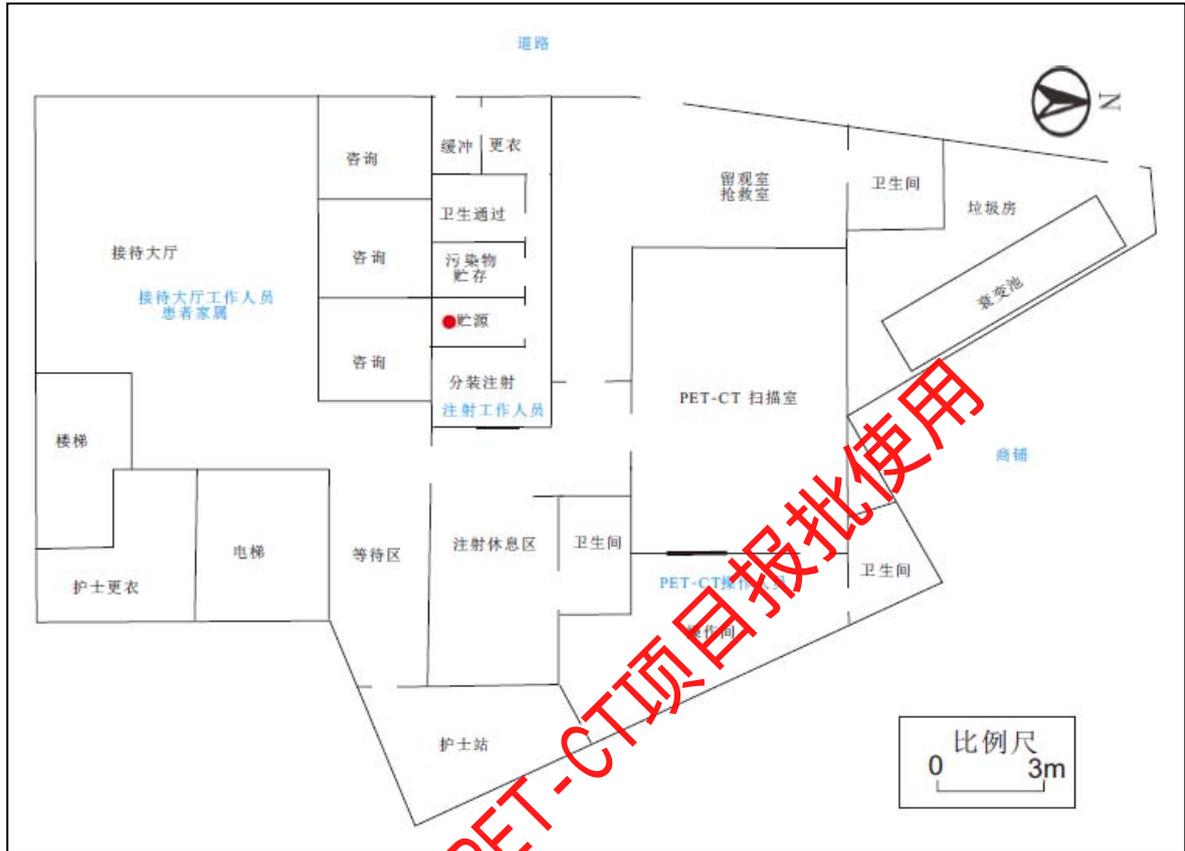


图 7-2 PET-CT 工作场所主要环境保护目标

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	距贮源室距离 (m)	
1	PET-CT 工作场所	注射工作人员	3	贮源室东侧	0.3~3m	≤5mSv
		PET-CT 操作人员	7	操作室	7~11m	
2	体检中心 一层	接待大厅工作人员、咨询室工作人员、患者家属等	20	/	0.3~11m	≤0.25mSv
4	体检中心 二层	二层接待大厅人员	30	楼上	4.0m	
5	三桥建材市场	建材市场商铺以及活动人员	/	体检中心东侧、北侧和南侧	20~50m	

6	道路行人	过路行人	/	体检中心西侧	13~50m	
---	------	------	---	--------	--------	--

评价标准

1、剂量限值及剂量约束值

(1) 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中规定：应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，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）不超过 20mSv；实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过 1mSv。

(2) 表面污染控制水平

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）将于 2021 年 5 月 1 日实施，本项目工作场所表面污染控制水平参照该标准执行。

5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。核医学科工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-2。

表 7-2 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平单位

表面类型		α 放射性物质 (Bq/cm ²)		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ^a	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4×10	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

a. 该区内的高污染子区除外。

(3) 放射性废液排放

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 8.6.2 款规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

① 每月排放的总活度不超过 10ALImin（ALImin 是相应于职业照射的食入和吸

入 ALI 值中的较小者)；

② 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。

(4) 环评要求年管理剂量约束值及控制水平

综合考虑体检中心核技术利用项目的现状，并着眼于长期发展，为其它辐射设施 and 实践活动留有余地，本次评估分别对职业照射和公众照射的年受照剂量约束值分别进行了设定：

a. 取职业照射年有效剂量限值的 $1/4$ ，作为放射性工作人员的年受照剂量约束值，即 $5mSv/a$ ；

b. 取公众年有效剂量限值的 $1/4$ ，作为周围公众的年受照剂量约束值，即 $0.25mSv/a$ 。

2、工作场所的放射防护要求

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）将于 2021 年 5 月 1 日实施，本项目工作场所放射防护要求参照该标准执行。

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a. 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；

b. 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；

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；

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。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a. 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特

性分别设置)、质控(样品测量)室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房;

c.诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房;

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间(放射性药物贮存室、分装及(或)药物准备室、给药室等)、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房(使用非密封源治疗患者)、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871-2002 的有关规定,结合核医学科的具体情况,对控制区和监督区采取相应管理措施。

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。

3、工作场所的防护水平要求

参照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中“5.3 工作场所的防护水平要求”:

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房,应根据使用的核素种类、能量和最大使用量,给予足够的屏蔽防护。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 $2.5\mu\text{Sv/h}$;核医学工作场所的分装柜或生物安全柜,应采取一定的屏蔽防护,以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$;同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

4、放射防护措施要求

本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 III 类射线装置。

参照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中“5.2 放射防护措施要求”:

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-3，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见表 7-4。

表 7-3 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

a. 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测
b. 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制

表 7-4 临床核医学工作场所具体分类

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度, MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 7-3 要求，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。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5、放射性药物操作放射防护要求

参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的规定：

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 7-2 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7-2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 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部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，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固定措施。

6.2.12 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、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案。参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

6.2.15 核医学放射工作人员应按《职业性外照射个人检测规范》（GBZ 128-2016）的要求进行外照射个人监测，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测，保证眼晶状体连续 5 年期间，年平均当量剂量不超过

20mSv，任何 1 年中的当量剂量不超过 50mSv。

6、医用放射性废物的管理

参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的规定：

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.5 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。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 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，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

7、《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。

5 安全操作

5.1.2 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规程。

5.1.3 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。

5.1.4 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。

5.1.5 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。

5.1.6 如果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。

5.1.7 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。

5.1.8 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。

5.2.1 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。

5.2.3 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。

5.2.4 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。

6 辐射防护监测

6.1.1 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。

6.1.2 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。

6.2.1 操作非密封源的辐射工作人员的个人监测应遵循 GB 18871-2002 的要求，除了必要的个人外照射监测外，应特别注意采用合适的方法做好个人内照射监测。

6.2.4 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。

7 放射性废物管理

7.1.1 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。

7.1.2 应从源头控制、减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 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。

7.1.4 应做好废物的产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

7.2.1 操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相应控制应遵循 GB 18871-2002 的要求；不允许利用生活污水下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇到强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

7.2.4 使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方式进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗透能力。

7.3.1 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。

7.3.2 操作非密封源的单位产生的废物（包括废弃的放射源），应按要求送指定的废物库暂存。送贮的废物应符合送贮条件。

7.3.3 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。

7.4.1 对工作场所放射性废气或气溶胶的排放系统，应经常检查其净化过滤装置的有效性。

7.4.2 凡预计会产生大量放射性废气或气溶胶而可能污染环境的一次性操作，亦应采取有效的防护与安全措施和监测手段。

8 事故预防和应急

8.1 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。

8.2 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。

8.3 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。

9 非密封放射源的管理

9.1 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。

9.2 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。

9.3 辐射工作场所贮存的非密封放射源数量应符合防护与安全的要求，对于不使用的非密封放射源应及时贮存在专用贮存场所。

9.4 贮存非密封放射源的保险橱和容器在使用前应经过检漏。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）。

9.5 存放非密封放射源的库房应采取安保措施，严防被盗、丢失。

仅供安康PET-CT项目报批使用

表 8 环境质量和辐射现状

1、项目地理位置和场所位置

安康东七体检中心建设地位于安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路 155 号。地理位置见图 1-1。PET-CT 工作场所位于体检中心一层。

2、环境质量现状

本项目辐射环境质量现状数据由安康东七体检医院有限公司委托西安志诚辐射环境检测有限公司对拟建场所辐射环境质量进行现状监测，监测时间为 2021 年 1 月 27 日，监测地点为安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路 155 号，监测单位按照《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)、《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》(EJ/T 984-95)、《表面污染测定第 1 部分： β 发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008) 等有关要求进行监测。

3、监测因子

X、 γ 辐射剂量率、 β 表面污染。

4、监测点位

拟建 PET-CT 扫描室、拟建留观室、拟建分装注射室、拟建贮源室、拟建污染物贮存室、拟建注射休息区、走廊、拟建操作间、拟建咨询室、拟建体检中心大厅、项目拟建地东侧道路、项目拟建地西侧道路 X、 γ 辐射剂量率、 β 表面污染。监测点位布设情况详见图 8-1。

5、监测概况

(1) 监测日期

2021 年 1 月 27 日。

(2) 监测仪器

监测仪器为便携式辐射检测仪和 α 、 β 表面污染测量仪，参数详见表 8-1。

表 8-1 监测仪器参数

型号规格	AT1123	WF-PRM-201
仪器编号	XAZC-YQ-010	XAZC-YQ-024
测量范围	50nSv/h~10Sv/h	0.1cps~99999cps
检定单位	中国计量科学研究院	中国计量科学研究院
检定证书	DLjl2020-04472	DLhd2020-02930
检定有效期	2020.6.24~2021.6.23	2020.9.27~2021.9.26

(3) 质量保证

按照《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-93)、《环境监测用 X、 γ 辐射测量仪 第一部分 剂量率仪型》(EJ/T 984-95)、《表面污染测定第 1 部分： β 发射体 ($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008) 的要求，实施监测全过程质量控制。合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性。所用监测仪器全部经过计量部门检定，并在有效期内。监测数据严格实行三级审核制度。

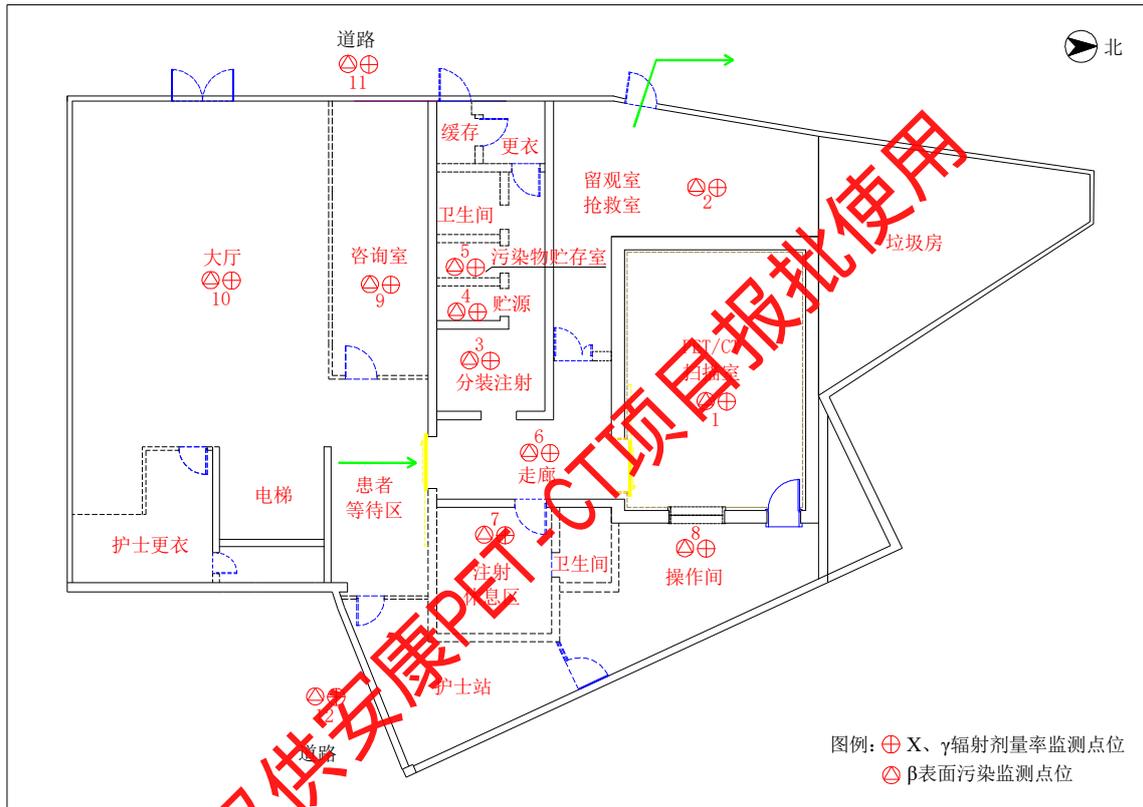


图 8-1 辐射环境监测点位示意图

6、辐射环境质量现状

项目辐射环境质量现状监测结果见表 8-2 和 8-3。

表 8-2 项目拟建场所各监测点位 X、 γ 辐射剂量率监测结果

监测点位	监测点位描述	X、 γ 辐射剂量率 (nSv/h)	
		测值范围	均值
1	拟建 PET-CT 扫描室	146~148	146
2	拟建留观室	133~138	135
3	拟建分装注射室	143~145	144
4	拟建贮源室	138~143	140
5	拟建污染物贮存室	138~141	139

6	走廊	133~135	133
7	拟建注射休息区	129~133	131
8	拟建操作间	133~135	133
9	拟建咨询室	126~129	127
10	拟建体检中心大厅	126~129	127
11	项目拟建地西侧道路	115~118	117
12	项目拟建地东侧道路	123~125	124

表 8-3 项目拟建场所各监测点位 β 表面污染监测结果

监测点位	监测点位描述	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1	拟建 PET-CT 扫描室地面	未检出
2	拟建留观室地面	未检出
3	拟建分装注射室地面	未检出
4	拟建贮源室地面	未检出
5	拟建污染物贮存室地面	未检出
6	走廊地面	未检出
7	拟建注射休息区地面	未检出
8	拟建操作间地面	未检出
9	拟建咨询室地面	未检出
10	拟建体检中心大厅地面	未检出
11	项目拟建地西侧道路地面	未检出
12	项目拟建地东侧道路地面	未检出

备注：1、监测结果已扣除仪器本底计数率，低于仪器本底计数率数值取“0”参与数据统计；
2、“未检出”代表监测结果低于仪器检出限，检出限为：0.343Bq/cm²；

由表 8-2 和 8-3 监测结果表明，安康东七体检医院有限公司正电子发射断层扫描仪 (PET-CT) 项目拟建场所东侧道路 X、 γ 辐射剂量率测量值范围 115~125nSv/h，室内各监测点位 X、 γ 辐射剂量率测量值范围为 (126~148) nSv/h；各监测点位 β 表面污染均未检出。

X、 γ 射线辐射权重为 1，X、 γ 辐射剂量率 (nSv/h) 换算为 γ 辐射剂量率 (nGy/h) 后数值一致。参照《陕西省环境天然贯穿辐射水平调查研究环境》中“安康市道路 γ 辐射剂量率为 (29.0~160.0) nGy/h，室内 γ 辐射剂量率为 (62.0~141.0) nGy/h；宇宙射线所致室外剂量率均值为 34.0nGy/h，室内剂量率均值为 34.0nGy/h”，本项目拟建场所辐射环境现状监测结果属于天然辐射环境本底水平。

表 9 项目工程分析及源项

工程设备和工艺分析

1、工作原理

(1) PET-CT

PET 是以代谢显像和定量分析为基础，通过组成人体主要元素的短寿命核素如 ^{18}F 作为示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测示踪剂引发正电子湮灭产生的一对 0.511MeV 光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，用于诊断疾病。PET-CT 则是将 PET 和 CT（计算机体层显像）有机结合在一起，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，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，同时反映病灶的病理生理变化和形态结构，提高诊断的准确性。

(2) 显像核素

^{18}F 主要用于医学诊断显像，基于示踪原理来显示体内生物代谢活动。 ^{18}F 半衰期为 109.8min ，其发射 β^+ 衰变时产生的正电子与负电子相结合后，能产生一对 γ 光子辐射（ $E=511\text{keV}$ ），经符合探测技术、图像重建，从而显示脏器或组织的代谢活动，主要应用于 PET-CT 进行诊断。

2、PET-CT 显像检查操作流程及产污环节图

(1) 根据医生指导意见，需要接受显像检查的患者提前预约登记，制定剂量方案，确定用药量。 ^{18}F 药物根据病人用量情况，提前一天向资质厂家进行定量订购，由厂家将药物按照约定的时间送至体检中心分子影像科贮源室。分子影像科药物管理人员经核对活度、数量无误，登记入库。

(2) 患者按约定时间在给药前病人候诊区准备和等候，经分子影像科入口处单向门禁区域，沿患者专用通道，到达 PET-CT 给药窗口，工作人员穿戴好个人防护用品按计划分装取药，对患者给药方式为静脉注射。

(3) 注射 ^{18}F 后患者进入注射后休息室候诊，进行检查前准备工作。

(4) 患者候诊完成，按指定顺序进入 PET-CT 扫描室，工作人员穿戴防护用品，进入 PET-CT 操作间，开启设备进行图像采集操作。

(5) PET-CT 检查后的患者检查完成后，先到留观室进行一段时间观察，无异常情

况经专用通道离开体检中心。工作人员读片、发报告。

^{18}F 显像检查操作流程以及产污环节见图 9-1。

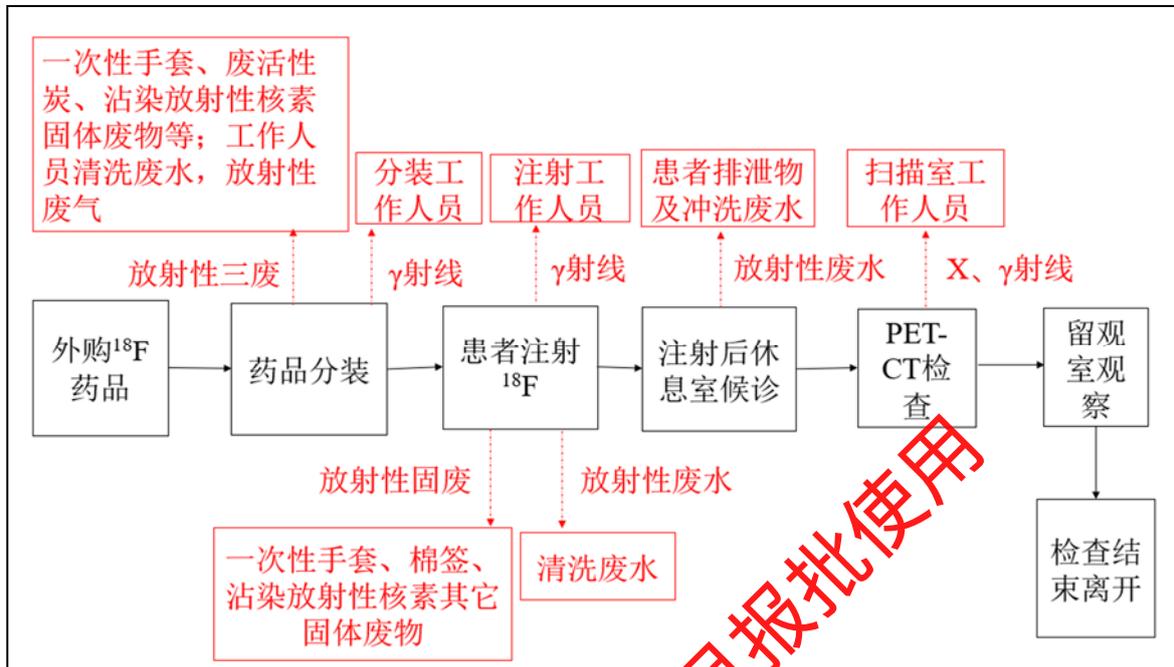


图 9-1 PET-CT 操作流程及产污环节图

3、污染物以及源项分析

(1) 放射性核素

① 正常工况

辐射： ^{18}F 半衰期为 109.8min，衰变方式为 β^+ 衰变，衰变产生的正电子湮没时产生 511keV 的 γ 射线。 ^{18}F 产生的 γ 射线会对分子影像科工作人员以及周边环境产生辐射影响。

放射性固体废物： ^{18}F 注射过程中产生废注射器、废手套、棉签以及沾染放射性核素的其他固体废物。体检中心每天显像检查约 5 人，按照患者每人次平均产生 0.05kg 放射性废物进行初步估算，年检查 260 天，其年产生放射性固体废物约为 65kg。

本项目分装注射室专用通风橱的排气筒排风口设置有活性炭过滤装置，建设单位将每年进行校正和更换，产生量约 5kg/a。

放射性废水：本项目 ^{18}F 显像诊断受检者不需要进行住院观察，所以在注射后候诊横中产生的废水主要来源于少量排泄废水、清洗废水，根据《陕西省行业用水定额》（2020 年版），门诊受检者用水定额取（12L/病人·次）；工作人员在完成一天的注射工作后需进行污染检测，并进行去污清洗而产生放射性废水，医务人员用水定额取

(150L/人·班)。分子影像科每日最多可接待¹⁸F显像检查患者5位，则分子影像科医务人员及患者每天产生的放射性废水约210L，每年产生的放射性废水约 5.46×10^4 L。

放射性废气：本项目涉及使用¹⁸F核素为液体且不易挥发，且密封在西林瓶里，使用时用针头抽取，几乎不产生气载流出物。

废旧放射源：报废的⁶⁸Ge校准源由生产厂家进行回收处理。

② 事故工况

因工作人员操作不当造成药物洒漏或其它因素造成容器破损，导致放射性药品洒漏在地面或工作台面，进而可能污染工作台、地面等，甚至造成工作人员手和皮肤的污染。洒漏的放射性药品，采用脱脂棉球擦拭或其他材料进行擦拭，污染清除后，擦拭后的物品按照放射性固体废物处理。因保管不善，放射性药品可能发生被盗和丢失，导致潜在照射的发生；放射性废物处置或管理不当，造成环境的放射性污染。

(2) 射线装置源项分析

① 正常工况

本项目 PET-CT 属于III类射线装置，进行CT扫描时，会产生 X 射线。X 射线经透射、漏射和散射，对作业场所环境产生辐射影响。空气在 X 射线的作用下，吸收能量并通过电离作用产生少量的 O₃ 和 NO_x 气体。

② 事故工况

工作人员尚未撤离 PET-CT 检查室，控制室内人员即开启设备，进行扫描，采集图像，对工作人员产生 X 射线外照射，额外增加其照射剂量。

患者专用卫生间	墙体	240mm 实心砖墙+50mm 硫酸钡涂料
注射休息区	墙体	240mm 实心砖墙+50mm 硫酸钡涂料
	防护门	5mmPb
留观室/抢救室	墙体	240mm 实心砖墙+50mm 硫酸钡涂料
	防护门	10mmPb
屋顶	空心楼板+50mm 硫酸钡涂料	

(2) 本项目预定的药品存放于分装注射室的分装通风橱（50mmPb、尺寸 1150mm×800mm×2200mm）内，分装注射室内设置有放射性废物桶，用于收集产生的棉签、一次性手套等固体废物。

(3) 分子影像科计划配备一系列的防护用品包括铅衣、铅围脖、表面沾污仪、X- γ 射线检测仪、个人剂量报警仪，通风橱以及喷壶、拖把、消毒液、一次性手套等除污用品。

(4) 放射性废水收集暂存：注射室和患者卫生间产生的废水，经专用管道进入分子影像科废水衰变池，体检中心拟建设的三级衰变池，共有 1 座集水池，1 座排水池和 3 座衰变池，3 座衰变池容积各为 2m³，存放 10 个半衰期达到清洁解控水平排入建材市场化粪池。

(5) 本项目分子影像科的 PET-CT 扫描室设置机械排风系统，排风量为 950m³/h，换气次数为 8.1 次/h，卫生通过间、污物贮存间、贮源室、分装注射室、注射休息区、留观室、卫生间等均不设外窗，采用机械排风系统进行换气，换气次数为 3~12 次/h。

分装注射室西侧放置专用通风橱，并配备有独立的通风系统，离心风机风速为 1500m²/s，废气排放口高于建筑屋顶。排气筒排风口设置有活性炭过滤装置，活性炭滤芯定期更换。更换的废活性炭，收集于污染物贮存间内暂存 10 个半衰期达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

2、辐射安全与防护措施

- (1) 控制区及监督区入口处应设置分区标牌；
- (2) 操作放射性药物时，工作人员应穿戴铅衣、铅眼镜等防护用品；
- (3) 放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟、化妆，不得进行无关工作及存放无关物品，放射性药物操作在衬有吸水纸的瓷盘内进行；
- (4) 从控制区取出任何物品，应进行表面污染检测，杜绝超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。
- (5) 放射性药物操作完成后，工作人员离开放射性工作场所前应进行淋浴，并对

表面污染进行监测，确认无放射性污染后，方可进入非放射性工作区域。

(6) 体检中心应严格按需订购¹⁸F放射性同位素药品，并配备专门人员负责点对点接收，清点数量，登记放射性药品台账。登记交接后贮存在贮源室内。

(7) 分装注射室应安装视频监控系统，并设置门锁，实行双人双锁管理，防止被盗事件发生，体检中心应建立放射性药品台账管理制度，明确购置、到货、暂存、使用等环节放射性药物量，做到账物相符。

(8) 对注射器和等放射性废物，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内。废物桶表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ 、 α 表面污染 $< 0.04\text{Bq/cm}^2$ 、 β 表面污染 $< 0.4\text{Bq/cm}^2$ ，重量 $\leq 20\text{kg}$ 。贮存放射性废物的塑料袋、废物桶必须安全可靠，并应在显著位置标有该废物类型、核素种类、半衰期等。废物桶中的放射性废物应及时转送至放射性废物间，贮存相应核素10个半衰期后，其放射性核素活度浓度达到清洁解控水平，按照医疗废物进行处理。

(9) 体检中心在分装注射室内设置有放射性废物桶，废物桶表面应有电离辐射警示标志。应尽量使用有脚踏式开关的废物收集桶。

(10) 分子影像科应在检查场所各通道入口、各防护门等处设置规范的电离辐射警告标志；在注射区、通道、候诊室等处设置病人引导标语。

(11) 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的产生量、污染核素名称、入库日期、解控或送贮日期、处置去向、责任人员等内容。

3、平面分区

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的分区原则：“5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。”

本项目分子影像科使用场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理。分区如下：

(1) 控制区

将贮源室、分装注射室、注射休息区、PET-CT 扫描室、留观室/抢救室、污染物

贮存间、卫生通过间和走廊划分为控制区。

(2) 监督区

监督区：PET-CT 操作间、护士站、缓冲室、更衣室、垃圾房以及控制区相邻 1m 处区域划分为监督区。

分子影像科工作场所分区图见图 10-2，对应体检中心二楼分区图见图 10-3。

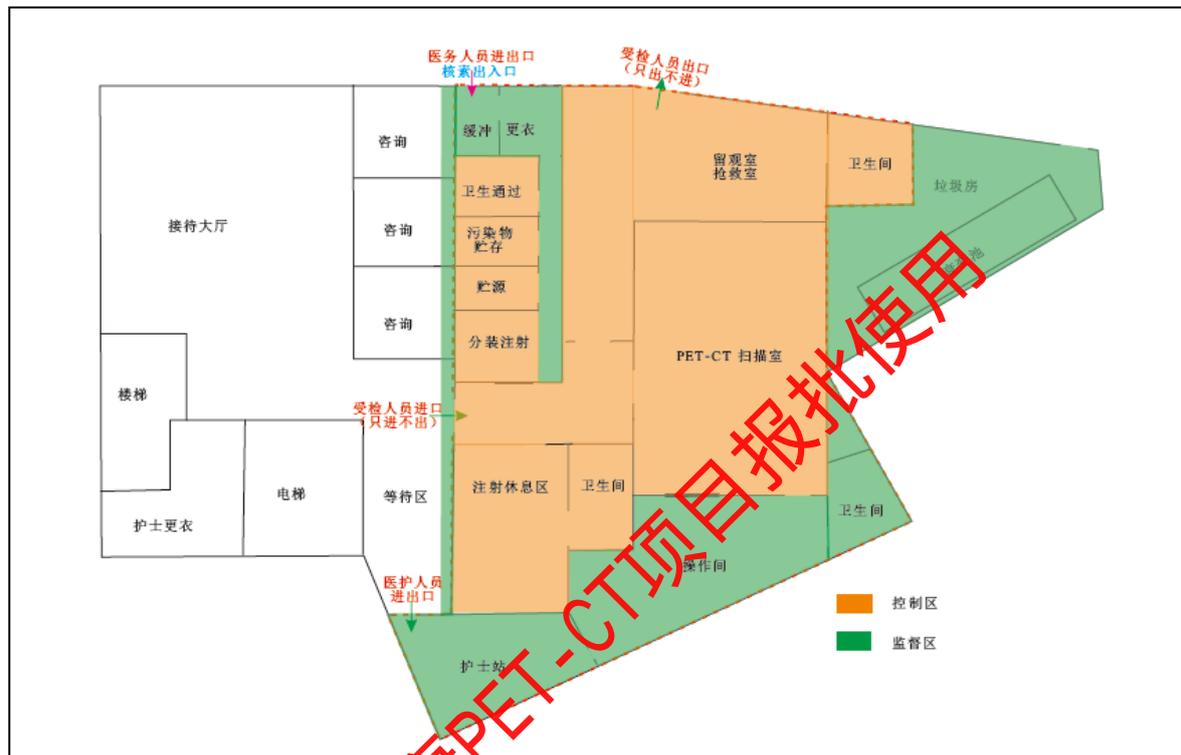


图 10-2 分子影像科工作场所分区图

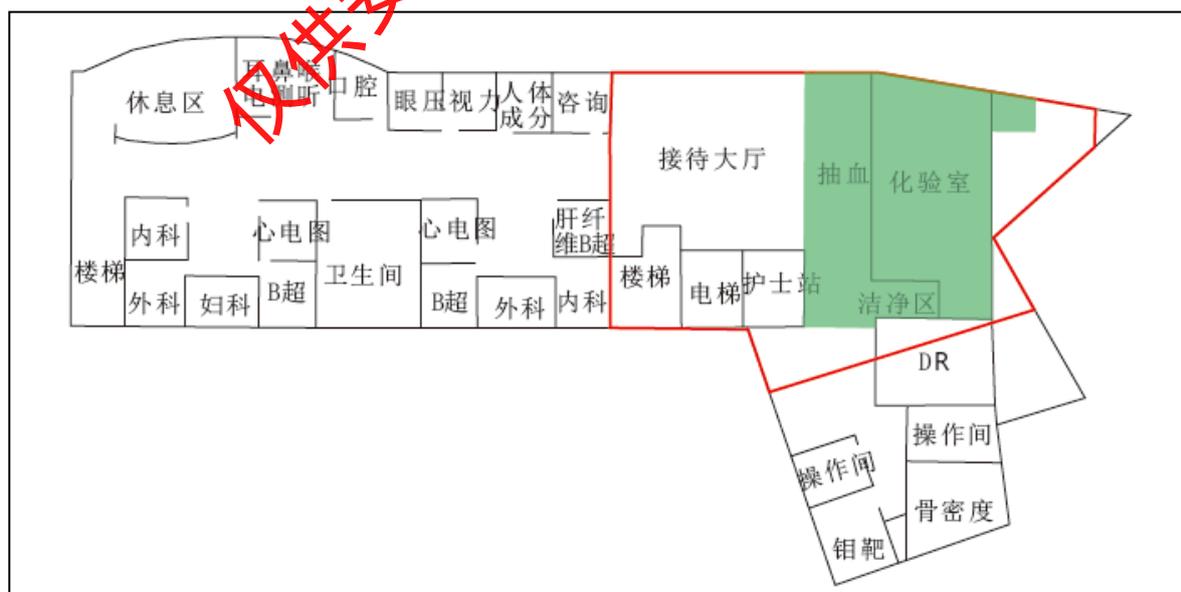


图 10-3 体检中心二楼工作场所分区图

4、分子影像科人流、物流设计合理性分析

(1) 医护人员流向：注射工作人员从医务入口进入，穿过缓冲间、更衣室进入分装注射室注射，注射完毕经过卫生通过间从医务入口离开；PET-CT 工作人员从医护入口进入，通过护士站进出 PET-CT 操作间，护士站人员不进入 PET-CT 扫描室。

(2) 患者流向：患者在护士站登记后，由工作人员安排患者在分装注射观察窗接受药物注射，患者给药后在注射休息区候诊，根据检查需要进入 PET-CT 扫描室接受检查，进行图象采集、处理，患者检查完毕后进入留观抢救室，观察无异常后由西侧专用通道出口离开。在预约登记对患者讲解检查流程，等候期间不随意走动。操作间通过广播、视频安排患者检查，检查结束后患者通过分子影像科西侧大门离开检查区域，不在分子影像科逗留。

(3) 物流：检查用的放射性药物在每天早晨 7 点之前由放射性药品供货单位专人从分子影像科西侧核素专用通道送入贮源室。药品管理员与送货人员办理药品验收、交接手续，记录药品规格、批次、数量以及收货时间等，药品贮存在贮源室。使用时工作人员在分装注射室进行药物准备，在注射窗口进行放射性药物注射操作。废弃的放射性废物先收集在分装注射室中的放射性废物桶中，定期转移至体检中心污物贮存间暂存，待满足清洁解控环境管理要求后按照一般医疗废物进行处置。

(4) 废水排放流向：分子影像科产生的废水经专用管道流入分子影像科衰变池暂存，放射性废水收集放置 10 个半衰期后排放至建材市场化粪池。

(5) 废气排放流向：分子影像科各工作场所安装有排风装置，产生的废气经专用管道进入分子影像科衰变池暂存，放射性废水收集放置 10 个半衰期后排放。

(6) 废活性炭流向：分子影像科分装注射室安装有分装通风橱，其排气筒排风口设置有活性炭过滤装置，活性炭滤芯每年更换一次。更换的废活性炭收集于污染物贮存间内暂存 10 个半衰期达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

综合分析认为，安康东七体检中心分子影像科人流通道进行分区设置，布局基本合理。人流物流图见图 10-4。

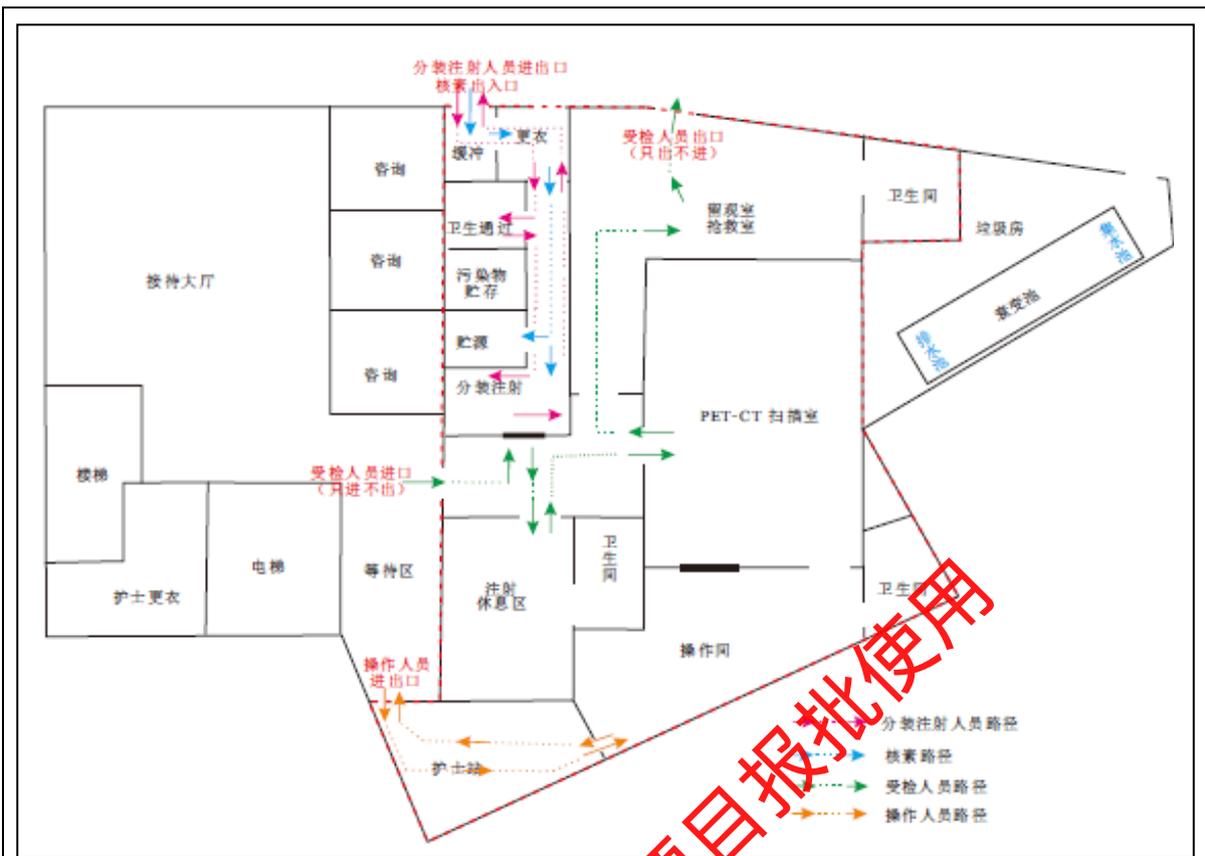


图 10-4 PET-CT 工作场所物流、人流路径示意图

三废的治理

1、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 ^{18}F 注射器、棉签、注射台上的吸水纸、工作人员佩戴手套、废活性炭等。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，在污染物贮存间中暂存；废物暂存 10 个半衰期以后作为普通医疗废物处理。

2、废气治理措施

分子影像科检查所涉及的 ^{18}F 同位素的挥发性很低，物理性质稳定，正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少，不会造成工作环境的空气污染，本项目分子影像科的 PET-CT 机房设置机械排风系统，通风量为 $950\text{m}^3/\text{h}$ ，通风次数为 8.1 次/h，分装注射室、注射休息区、留观室、卫生间等无外窗户房间均设置机械排放系统，换气次数不小于 3~12 次/h。排风管道示意图见图 10-5。

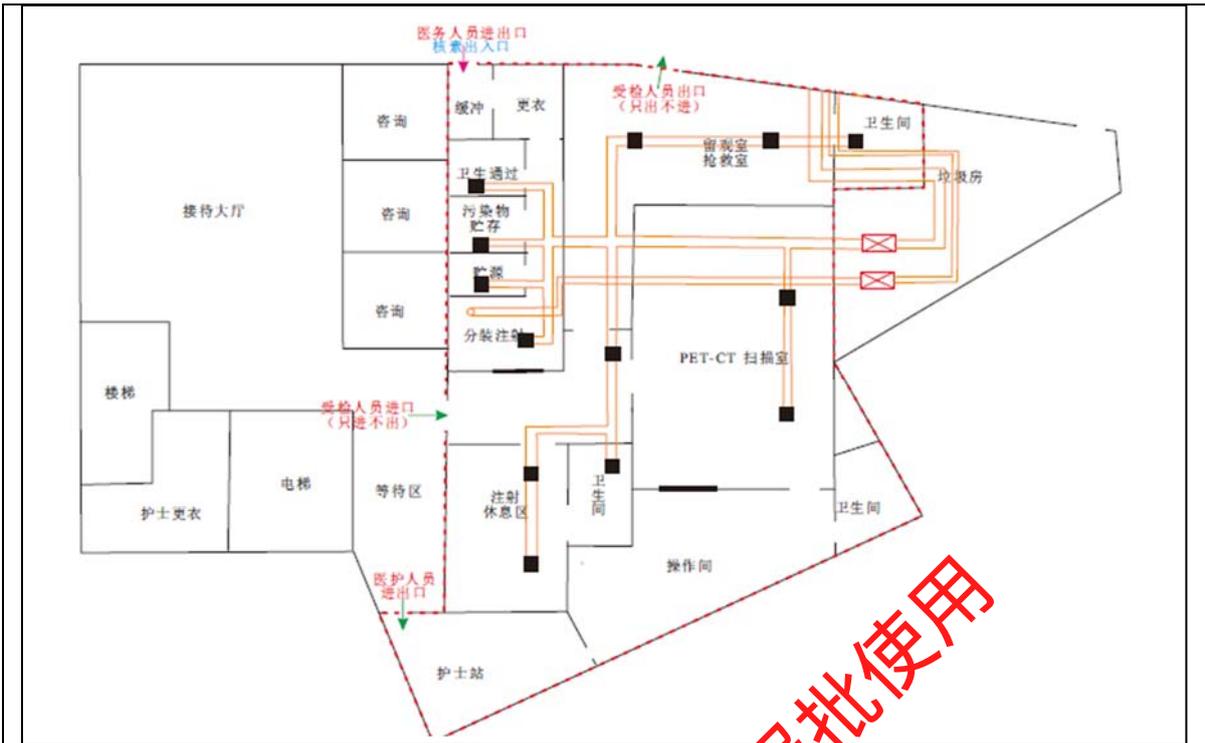


图 10-5 PET-CT 工作场所排风管道示意图

本项目分子影像科分装注射室通风橱挥发的放射性核素 ^{18}F 经专用通风管道由风机抽吸至楼顶排放，离心风机的风速为 $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，排气筒排风口设置有活性炭过滤装置，活性炭滤芯每年更换一次。更换的废活性炭，收集于污染物贮存间内暂存 10 个半衰期达到清洁解控水平后按照医疗废物处置。分装注射屋面排风示意图见图 10-6 所示。

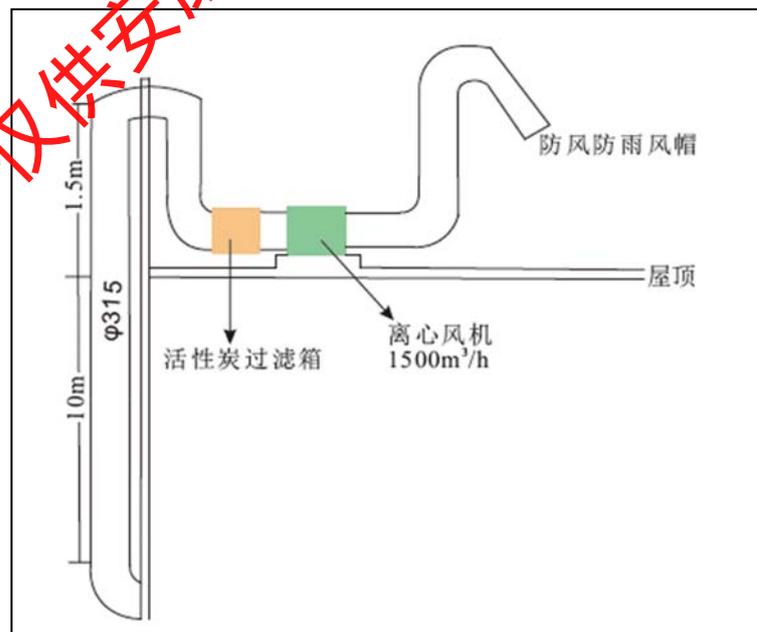


图 10-6 分装注射室屋面排风示意图

3、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，共有 1 座集水池，1 座排水池，3 座衰变池、控制柜、动力及控制系统等配套设施。每级衰变池设计容积约 2m^3 ，尺寸为 $1.3\text{m}\times 1.5\text{m}\times 1.1\text{m}$ 。每级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，防止雨水渗入及污水渗出。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建材市场化粪池。

PET-CT 显像检查每天最多为 5 人（次），全年约 1300 人（次）。保守按每检查 1 人（次）产生废水平均量 12L 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 150L，则 PET-CT 每天产生废水量为 210L，即 0.21m^3 。 ^{18}F 半衰期为 109.8min，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 2m^3 ，可以满足该放射性工作场所产生放射性废水的暂存及暂存时间要求。分子影像科排水路径示意图见图 10-7。



图 10-7 PET-CT 工作场所排水路径示意图

本项目衰变池位于地面上，池体采用 C30 混凝土一次浇筑成型，防止雨水渗入及污水渗出，铸铁井盖密闭防止渗水。底板（由外而内）采用素土夯实、100mmC15 混

凝土垫层、冷粘剂、4mmSBS 改性沥青防水卷材、防水钢筋混凝土底板、20mm 的 1:2.5 防水砂浆找平层；池体（由外向内）采用 50mm 聚苯乙烯泡沫板保护层、4mmSBS 改性沥青防水卷材、防水钢筋混凝土墙体、20mm 的 1:2.5 防水砂浆找平层。衰变池外观结构示意图见图 10-8，剖面图见图 10-9。

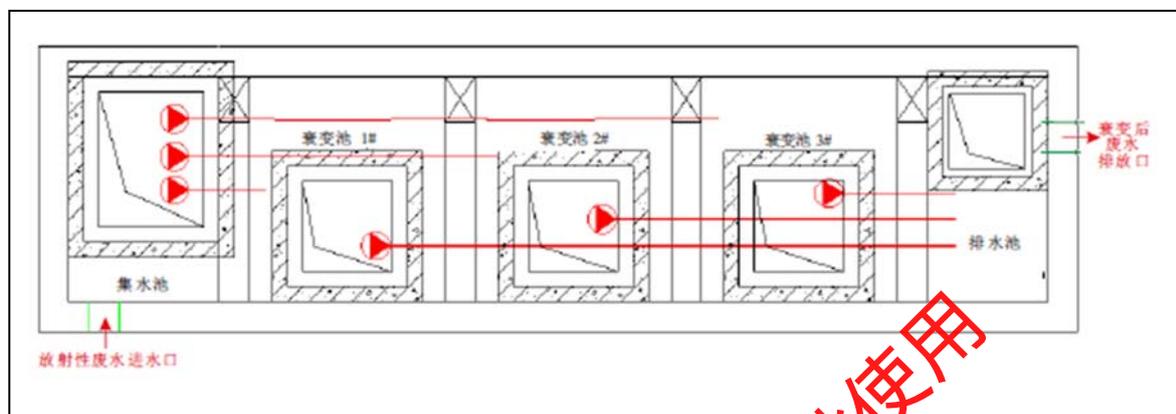


图 10-8 衰变池外观结构示意图

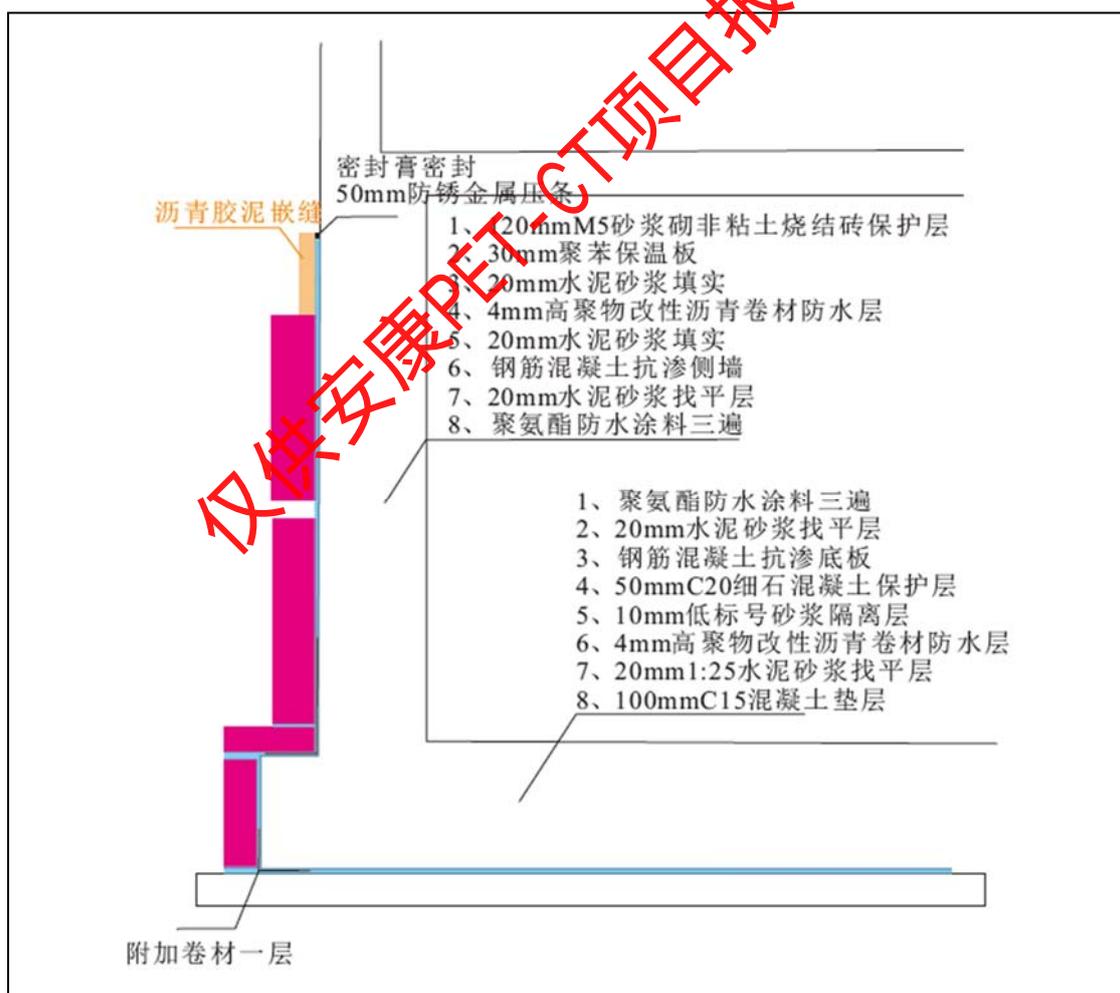


图 10-9 衰变池剖面图

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目租赁安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路155号1号楼北一层建设安康东七体检中心分子影像科，施工期主要进行现有楼层改造、设备安装等，主要环境影响如下：

(1) 大气：建设过程中各种施工将产生扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气，但以上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：**a.**施工现场进行围挡；**b.**及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；**c.**车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒。

(2) 噪声：施工期机械设备在运行中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。

(3) 固体废物：项目施工期产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，建设单位应集中收集，可利用部分回收利用，其余部分清运至建筑垃圾填埋场，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。

(4) 废水：施工人员生活依托建材市场内现有的设施，其产生的生活污水排入建材市场化粪池。

通过以上污染防治措施，可将施工期的影响控制在项目局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

本项目在运行阶段的环境影响主要为：医用射线装置在使用过程中产生的 X 射线，放射性核素使用过程中产生的 γ 射线、表面污染及放射性“三废”。

1、实体屏蔽的防护分析

射线装置机房基本尺寸及防护情况详见表 11-1。

表 11-1 PET-CT 机房使用面积及单边长度

射线机房	项目	实际值	GBZ130-2020 要求值	评价
PET-CT	面积	36.99m ²	30m ²	满足
	最小单边长	5.04m	4.5m	满足

2、工作场所环境影响分析

(1) 工作场所的分级

根据表 7-4 工作场所的分类原则，本项目分子影像科只使用 ^{18}F ，工作场所分类见表 11-2。

表 11-2 本项目核医学工作场所具体分类

场所	日最大操作活度	核素的毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	类别
PET-CT 扫描室	1.78×10^9	1	10	178	II类
分装注射室	1.78×10^9	1	1	1780	II类
贮源室、污染物贮存间	1.78×10^9	1	100	17.8	III类
注射后休息室	1.78×10^9	1	10	178	II类
留观室(抢救室)	1.78×10^9	1	10	178	II类

对照《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)，本项目各放射性场所均为II类工作场所，II类工作场所室内表面和装备的要求见表 11-3。

表 11-3 II类工作场所室内表面和装备的要求

分类	结构屏蔽	地面	表面	分装柜	通风	管道	盥洗与去污
II类	需要	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	易清洗	良好通风	普通管道	洗手盆和去污设备
III类	不需要	易清洗	易清洗	不必须	一般自然通风	普通管道	洗手盆

本项目地面平整度误差在3mm以内，在辐射工作区的地面采用易清洗、不易渗透的PVC胶。墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料。

(2) 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB17871-2002)的要求，核医学工作场所依据管理的需要，可分为控制区和监督区。

非密封放射源工作场所的设计布局如图10-1所示，分子影像科分区明确，设置了注射后休息室、留观室和卫生间，病人注射药物后主要在分子影像科东侧活动，注射显像完毕的患者由西侧的专用通道离开，其功能分区基本满足管理的要求。

(3) 使用过程中的屏蔽防护分析

PET-CT使用放射性核素 ^{18}F 药物作为显像剂， ^{18}F 发生 β^+ 衰变后正电子与负电子发生湮灭反应产生0.511MeV的 γ 射线，可能对工作人员以及周边环境产生辐射影响。

本项目PET-CT检查前，对患者进行预约登记，制定剂量方案，确定用药量，向厂家定量预订 ^{18}F 药物，由厂家将药物送至贮源室内。注射室医护人员按需分装取药进行

注射。护士在分装注射室的注射观察窗为病人注射放射性药物，注射完病人在注射后候诊室等待10~30min，然后再到PET-CT扫描室进行扫描检查，扫描检查后病人需留观30min左右后离开。

为了论证PET-CT各场所墙体、防护门屏蔽能力，从保守角度，不考虑核素随时间衰变影响，采用如下公式进行计算：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{R^2} \times 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} \quad (\text{公式11-1})$$

式中： \dot{H} —关注点剂量当量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —非密封放射性物质活度， MBq ；

R —非密封放射性物质距关注点距离， m ；

Γ —周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ 。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H中：“ ^{18}F 的周围剂量当量率常数（裸源）为 $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ”附录L中：“ ^{18}F 在患者或受检者体内单位活度所致体外1m处的周围剂量当量率为 $0.092 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ”；

X —屏蔽体厚度， mm ；

TVL — γ 射线半值层厚度， mm 。

本项目使用核素 ^{18}F ，放射性核素在衰变过程中会产生不同能量的射线。 ^{18}F 的最大给药量为 356MBq ，衰变能量为 511keV （ γ ：193%）。分子影像科工作场所拟采用砖墙、铅玻璃、铅防护门、硫酸钡涂料为主要屏蔽材料进行防护。另外，PET-CT扫描室还应考虑X射线透穿辐射的影响。

安康东七体检中心分子影像科PET-CT显像检查使用的核素用量、核素半衰期、核素对应不同屏蔽材料半值层厚度相关计算参数见表11-4。

表 11-4 PET-CT 显像检查屏蔽计算参数取值

核素	核素用量 MBq	半衰期	γ 射线能量 keV	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	半值层 TVL	
					铅mm	砖cm
^{18}F	356	109.8min	511	0.143	16.6	26.3

计算时，分子影像科分装注射室、注射后休息室、检查室、留观室等场所选取屏蔽墙体、防护门或观察窗外表面30cm处作为计算点，计算点剂量率控制水平取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

① 分装注射室

a.分装过程

体检中心外购的 ^{18}F 放置在通风橱内，病人注射前由注射工作人员在通风橱内分装出所需活度的核素，本次计算时按每日最大储存量 $1.78 \times 10^9 \text{Bq}$ 进行计算。计算结果见表 11-5。

表 11-5 通风橱表面剂量率估算结果

序号	计算点	核素活度 MBq	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	距离 m	设计屏蔽厚度 mmPb	透射比	计算剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	控制剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	是否符合
1	工作面	1780	0.143	0.5	50	9.73×10^{-4}	0.99	2.5	符合
2	其余三面	1780	0.143	0.5	50			2.5	符合

由上可知，体检中心分装橱四周防护厚度均能满足相关要求。

b.注射过程

注射时，工作人员穿戴防护用品（铅衣、铅手套， 0.5mmPb 当量），每名患者注射最大药物量为 356MBq ，工作人员距约患者 0.5m ，根据体检中心提供的资料，注射室观察窗为 167mm 铅玻璃（ 40mmPb ），则可根据公式 11-1，计算出注射过程所致工作人员注射操作位、注射窗表面剂量率，计算结果见表 11-6。

表 11-6 注射室表面剂量率估算结果

序号	计算点	核素活度 MBq	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	距离 m	设计屏蔽厚度 mmPb	透射比	计算剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	控制剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	是否符合
1	工作人员注射操作位	356	0.143	0.5	40.5	0.00363	0.74	2.5	符合
2	注射窗外表面 30cm处	356	0.143	0.5	40	0.00389	0.79	2.5	符合

② 候诊过程

本项目设置 1 间注射后休息室，内含 3 张病床，且每名患者注射扫描完离开后下一名患者才能进入。每名患者注射 ^{18}F 药物量为 356MBq ，不考虑衰减，则根据公式 11-1，可以计算出候诊室屏蔽墙体表面剂量率，计算结果见表 11-7。

表 11-7 注射后休息室表面剂量率估算结果

序号	计算点	核素活度 MBq	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	距离 m	设计屏蔽厚度 mmPb	透射比	计算剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	控制剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	是否符合
1	西侧防护门外走廊	356	0.092	2.0	5mmPb	0.49979	4.09	25	符合
2	南侧等待区	356	0.092	2.0	240mm 实心砖墙 +50mm 硫酸钡涂料	0.08067	0.66	2.5	符合
3	东侧护士站	356	0.092	2.5			0.42		符合
4	北侧卫生间	356	0.092	2.0			0.66		符合
5	楼上护士站，走廊	356	0.092	4.0	空心楼板 +50mm 硫酸钡涂料	0.65959	1.35	2.5	符合

由上可知，分子影像科注射后休息室防护墙及防护门均能满足相关要求。根据《核医学放射防护要求》中“控制区内屏蔽体表面 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，则注射休息区西侧防护门屏蔽厚度建议至少增加至 8.6mmPb，可满足防护门外走廊的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

③ PET-CT 扫描室

a.PET-CT 显像检查过程中，扫描室屏蔽墙体、防护门、观察窗受到患者体内已注射的 ^{18}F 药物衰变产生的 γ 射线、PET-CT 设备扫描期间产生的 X 射线照射，可能对工作人员以及周边环境产生辐射影响， ^{18}F 药物衰变产生的 γ 射线对周围环境影响见表 11-8。

表 11-8 PET-CT 扫描室屏蔽体表面剂量率估算结果

序号	计算点	核素活度 MBq	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	距离 m	设计屏蔽厚度 mmPb	透射比	计算剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	控制剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	是否符合
1	观察窗	356	0.092	5.6	10mmPb	0.249799	0.26	2.5	符合
2	南侧防护门走廊	356	0.092	4.4			0.42	2.5	符合

3	西侧留观、抢救室	356	0.092	4.5	370mm 实心砖墙 +50mm 硫酸钡涂料	0.0258 48	0.04	2.5	符合
4	北侧垃圾房	356	0.092	3.3			0.08	2.5	符合
5	北侧商铺	356	0.092	5.2			0.03	2.5	符合
6	楼上化验室	356	0.092	4.0	空心楼板 +50mm 硫酸钡涂料	0.5741 64	1.35	2.5	符合

b. PET-CT 属于III类 X 射线装置，因此需考虑 X 射线对周边环境的影响。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线机房屏蔽厚度规定如表 11-9。

表 11-9 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 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房		2.5

本项目设计屏蔽情况见表 11-10。

表 11-10 PET-CT 扫描室使用 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
		GBZ130-2020 要求	GBZ/T 180-2006 要求	
墙体	370mm 实心砖墙 +50mm 硫酸钡涂料	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向和非有用线束方向铅当量均为 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	空心楼板 +50mm 硫酸钡涂料			满足
观察窗	42mm 铅玻璃			满足
防护门	10mmPb			满足
机房有效面积	PET-CT 机房有效面积约 37m ² ，最小单边长度为 5.04m。			机房内最小有效面积为 30m ³ ，最小单边长度为 4.5m。

备注：根据设计单位提供的资料，观察窗的厚度为 42mm 铅玻璃，其铅当量为 10mmPb，墙壁 50mm 硫酸钡涂料的铅当量为 3mmPb。

综上，扫描室满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）中对 X 射线机房屏蔽厚度的要求。

④ 留观室、抢救室

本项目留观室与抢救室合建，注射 ^{18}F 药物的患者检查完成后，需要进行留观室进行观察，不考虑核素随时间衰减以及人体自身吸收，则计算出留观室墙体外表面剂量率见表 11-11。

表 11-11 留观室屏蔽体表面剂量率估算结果

序号	计算点	核素活度 MBq	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	距离 m	设计屏蔽厚度 mmPb	透射比	计算量率 $\mu\text{Sv/h}$	控制剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	是否符合
1	西侧防护门外道路	356	0.092	3.8	10mmPb	0.2497	0.57	2.5	符合
2	东侧防护门内走廊	356	0.092	5.0		0.33	2.5	符合	
2	北侧卫生间	356	0.092	1.2	240mm 实心砖墙 +50mm 硫酸钡涂料	0.080673	1.83	2.5	符合
3	楼上化验室	356	0.092	4.0	空心楼板 +50mm 硫酸钡涂料	0.659595	1.35	2.5	符合

由上估算结果可知，分子影像科留观室、抢救室防护墙、屋顶及防护门均能满足相关要求。

3、辐射剂量估算与评价

(1) 工作人员个人剂量估算

本次剂量估算主要依据辐射剂量学原理进行理论剂量估算，预测体检中心分子影像科投入运行后对职业人员和公众的辐射影响。 γ 射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量计算公式如下：

$$H_{\gamma} = D_{\gamma} \times t \times 10^{-3} \quad (\text{公式 11-2})$$

式中： H_{γ} — γ 射线或 X 射线外照射所致人员年有效剂量当量，mSv；

D_{γ} —人员停留位置处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t—人员年接触 γ 射线或 X 射线时间, h;

PET-CT 检查使用放射性核素 ^{18}F , 其显像检查过程大致可分为药物分装注射、扫描 2 个过程, 因此可通过这 2 个过程估算工作人员年有效剂量。

① 分装注射人员: 根据体检中心提供的资料, 每名患者 ^{18}F 药物用量为 $3.56 \times 10^8 \text{Bq}$, 每天检查 5 人次, 年工作 260 天, 年诊断病人 1300 人次。体检中心分子影像科 ^{18}F 药物采用预约方式, 由供药单位将药物置于铅罐内送至分子影像科的贮源室, 再由注射工作人员在通风橱内分装出所需活度的核素。分装一次约 10min; 转运一次约 2min, 每名患者 ^{18}F 药物用量最大为 $3.56 \times 10^8 \text{Bq}$, 分装橱表面 30cm 的剂量为 $0.99 \mu\text{Sv/h}$, 则工作人员分装一次所受到的有效剂量为 $0.165 \mu\text{Sv}$, 年有效剂量为 0.215mSv 。

工作人员为患者进行 ^{18}F 药物注射时, 考虑铅衣、注射屏屏蔽效果 (分别取 0.5mmPb 、 40mm 铅当量), 工作人员距离患者约 0.5m , 工作人员注射操作位剂量率为 $0.74 \mu\text{Sv/h}$, 则工作人员注射一次所受到的有效剂量为 $0.025 \mu\text{Sv}$, 年有效剂量为 0.033mSv 。

② 操作人员: 显像检查过程, 工作人员在 PET-CT 机房控制室内进行操作, 每人每次扫描时间为 $8 \sim 15 \text{min}$ 。从保守角度考虑, 工作人员操作位置处剂量率取操作间观察窗表面 30cm 剂量率 $0.26 \mu\text{Sv/h}$ 进行计算 (见表 11-9), 则工作人员检查一次所受到的有效剂量为 $0.065 \mu\text{Sv}$, 年有效剂量为 0.085mSv 。

综上, 根据建设单位提供资料, 分装注射人员为 3 人, 操作人员为 7 人。本项目分子影像科分装注射工作人员年附加有效剂量为 0.248mSv , 则每名分装注射工作人员年附加有效剂量为 0.083mSv 。每名操作人员年附加有效剂量为 0.012mSv 。

(2) 非辐射工作人员和公众人员

分子影像科的西侧为道路, 北侧为衰变池, 南侧为接待大厅, 东侧为建材市场内部道路。根据平面布局图可知, 计算非辐射工作人员及公众年有效剂量见表 11-12。由公式计算可知, 非辐射工作人员和公众人员所受的年附加有效剂量最大为 0.17mSv , 低于年管理目标值 0.25mSv/a , 满足管理目标的要求。

表 11-12 非辐射工作人员和公众人员年附加有效剂量

序号	计算点	计算量率 $\mu\text{Sv/h}$	T	年附加有效 (mSv/a)
1	留观抢救室西侧防护门外	0.57	1/8	0.15
2	注射候诊室南侧等待区	0.66	1/8	0.17
3	检查室北侧商铺	0.03	1	0.06

4、放射性三废环境影响分析

(1) 放射性废水环境影响分析

放射性废水：放射性废水主要来自分子影像科工作场所分装注射室和卫生间等。根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)中“5.1.1 使用放射性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已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，应有房泄露措施。”

本项目衰变室安装 1 套放射性废水衰变系统，PET-CT 诊断中心产生的放射性废水经专用管道排入该系统。放射性废水衰变系统的每个衰变池有效容积为 2m^3 ，共设 3 个衰变池。

分子影像科每日最多可接待 ^{18}F 病人 5 位，每名患者排泄物冲洗废水产生量以 12L 计，受检者每天产生放射性废水量为 60L。注射室放射性工作人员在注射后用水量取 210L，则分子影像科注射工作人员及患者产生的放射性废水约 210L。则 PET-CT 每天产生废水量为 0.21m^3 ；三个衰变池 ($3 \times 2 \text{m}^3$) 采用全自动管理：1#衰变池放射性废水存满后，自动转存 2#衰变池；2#衰变池放射性废水存满后，自动转存 3#衰变池。每个衰变池均设有独立的检测仪。

本项目 PET-CT 中心放射性废水暂存 10 个半衰期，处理达到《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 $< 10 \text{Bq/L}$) 后排入建材市场化粪池，不对周边环境造成影响。

(2) 放射性废气环境影响分析

本项目涉及使用 ^{18}F 核素为液体且不易挥发，且密封在西林瓶里，使用时用针头抽取，几乎不产生气载流出物。

分子影像科检查所涉及的 ^{18}F 同位素的挥发性很低，物理性质稳定，正常工作情况下产生气溶胶和蒸汽很少，卫生通过间、污物贮存间、贮源室等无外窗户房间均设置机械排放系统，换气次数 3~12 次/h；分子影像科分装注射室通风设置有专门的通风系统，且风机出口设置活性炭过滤器，通过以上措施，不会造成工作环境的空气污染。本项目分子影像科的 PET-CT 机房设置机械排风系统，排风量为 $950 \text{m}^3/\text{h}$ ，换气次数为 8.1 次/h，

本项目注射分装室通风柜排风至屋面，离心风机风速为 $1500 \text{m}^3/\text{h}$ ，排气筒排风口

设置有活性炭过滤装置，活性炭滤芯每年更换一次。更换的废活性炭，收集于污染物贮存间内暂存 10 个半衰期达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

(3) 放射性固体废物影响分析

分子影像科产生的放射性固体废物主要为：给药过程中废注射器、注射针头、棉签、手套、口罩、废口杯、擦拭纸巾、废活性炭以及可能沾染放射性药物其他固体放射性废物。其他废物将其按核素种类进行分类收集，放置专用塑料袋内，置于具有防护层的废物桶。待专用塑料袋装满后，标明核素种类和收集日期，转到污染物贮存间暂存，放置 10 个半衰期后（18.3h），放射性核素浓度已达到豁免水平，作为普通医疗废物处理。

报废的 ^{68}Ge 校准源由生产厂家进行回收处理。

环评要求：1) 固体放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避开辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转至放射性废物间；

2) 在放射性废物桶表面应设置电离辐射标志，存放放射性废物桶必须安全可靠，并在废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

3) 放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 612 号）的相关规定。

仅供安康PET-CT项目报批使用

事故影响分析

1、放射性药物造成的事故分析

(1) 事故风险分析

本项目主要使用 ^{18}F 作为显像药物，患者在体检中心的驻留时间段，在正常营运情况下对公众和周围环境是安全的。但是如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

① 放射性药物注射患者错误

由于两名病人名字相同，工作人员没有交叉检查病人识别码是否与申请表上的号码一致，导致药物错误注射，可能对患者造成辐射污染。

② 放射性药物注射错误剂量

由于医生与技术人员沟通不当，放射性药物注射错误剂量。

(2) 应急情况类型

① 源丢失

② 少量放射性溢出

③ 溢出大量的放射性物质

(3) 风险防范与事故应急处理措施

针对分子影像科检查工作场所放射性核素使用过程中可能出现的辐射事故，应采取一系列的预防措施，尽可能减少或控制事故的危害和影响。

① 建立放射性药物使用管理制度，制定放射性药物操作技术规程和事故应急处理预案。辐射安全管理小组定期检查安全规章和制度落实情况，发现问题及时纠正。

② 应急预案应明确应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等；

③ 药物使用场所、病人停留场所定期进行监测，配备必要的个人防护用品、表面污染监测仪器和应急器材、设备；

④ 工作人员须熟练掌握放射性药物操作技能和辐射防护基本知识的培训，正确处置意外情况，在注射窗口完成药物注射，一旦发生洒漏致台面和地面污染的情况，及时采取擦拭方法去污，并用表面污染检测仪检测，直至表面污染水平满足标准要求。工作人员离开注射室后更换工作服，防止放射性污染扩散至控制区之外；

⑤ 加强放射性药物安全管理，落实放射性物质安保措施，设立专门的放射性废

物间，配置专用铅制废物桶。定期收集注射、检查场所产生的放射性废物，标注日期，定期开展清洁解控处理。

2、射线装置造成的事故分析

(1) 事故风险分析

本项目使用的医用 X 射线装置属于 III 类射线装置，发生辐射事故的概率较小，但仍应进行考虑。主要辐射事故体现在以下方面：

① 在射线装置工作状态下，安全联锁失效，人员误入机房产生误照射；

② 在射线装置工作状态下，安全联锁失效，防护门未完全关闭，对经过或停留的人员产生误照射。

(2) 风险防范措施与事故应急处理措施

对于射线装置可能发生的意外照射事故，关键在于预防，主要采取以下防范措施：

① 机房防护门处设置规范的电离辐射警告标志及中文说明，安装工作状态指示灯；

② 定期巡查机房防护门工作状态指示灯及安全联锁有效性；

③ 规范医院诊断工作秩序，严格执行 X 射线诊断操作规程和辐射安全管理制度；

④ 定期检查安全制度落实情况，发现问题及时处理，消除隐患前不得继续使用；

⑤ 定期组织开展辐射事故应急演练，当发生辐射事故时及时响应，将辐射事故影响降到最小。为避免辐射事故的发生，要求工作人员每次上班时首先要检查个人防护设施、监控系统和报警系统是否正常。如果发生故障失灵，应立即修理，严格按照各设备操作程序进行操作作业，按照相关规定要求，完善和加强管理，使放射性同位素和射线装置始终处于监控状态。

发现意外事件与事故的当场人员应当立即向科室负责人、上级各管理部门以及辐射安全管理小组负责人和专职人员报告，启动事故应急预案。辐射安全管理小组等相关人员立刻到达现场，保卫科负责保护现场，控制范围。发生该类事故后，应在 2 小时内填写《辐射事故处事报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1、辐射安全管理

开展核医学工作的医疗机构应对放射工作人员、患者或受检者以及公众的防护与安全负责，主要包括：

① 应制定全面的质量保证大纲，该大纲至少以下内容：

a. 对新或维修过的显像器件和辐照装置，使用前应测量其相关的物理参数，并且以后对其进行定期测量；

b. 患者或受检者诊断或治疗中使用的相关的物理参数和临床方法；

c. 书面记录和操作的规范化程序（例如患者或受检者的病史和体征、诊断摘要、适应证和禁忌证等）；

d. 确认使用的放射性药物及其使用程序与执业医师开具的处方相一致的验证程序；

e. 剂量测定和监测仪器的校准或检定及工作条件的验证程序；

f. 对已制定的质量保证大纲进行定期审查并及时更新。

② 应建立健全包括患者或受检者防护在内的管理制度和操作流程，该管理制度和操作流程至少以下内容：

a. 诊疗申请及处方的程序（包括患者或受检者的病史和体征、诊断摘要、调查的适合性和禁忌证等内容）；

b. 放射药物使用程序（包括可靠的施药程序及药物施用量质控、患者或受检者信息及身份识别等内容）；

c. 临床工作程序（包括放射性药物制备及转运、临床环境、患者或受检者的运送和准备、设备性能、采购规程和废物处理等内容）；

d. 技术培训及经验收集程序（包括所有相关人员的培训和经验收集等内容）；

e. 数据分析和处理程序（包括处理规程、设备性能、数据完整性等内容）；

f. 放射性药品台账制度，记录全部购入的药品，每次领取的数量及领取人签字等信息。

③ 制定并落实放射防护管理制度，有效实施质量保证大纲，采取合理和有效的措施以预防设备故障和人为失误；

④ 应针对实施诊疗时可能出现的故障或失误，制定应急预案，并进行应急培训和演练，将可能出现的故障或失误所致后果减到最小；

⑤ 制定人员培训计划，对人员的专业技能、放射防护知识和有关法律知进行培训，使之满足放射工作人员的工作岗位要求。

2、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》（2015年1月1日）、《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）的要求、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第7号，2019年8月22日）第十六条“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（一）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，并按照表12-1要求内容以正式文件的形式对各成员辐射安全职责进行明确要求。

表 12-1 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	决策层	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。
		年初工作安排和年终工作总结，应包含辐射环境安全管理工作内容。
		明确辐射安全管理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。
	辐射防护负责人	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。
		建立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，并有完善的巡查及整改记录。
直接从事放射工作的作业人员		岗前进行职业健康体检，结果无异常。
		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，发现异常情况后，能有效处理。
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安全与环境保护管理机构和负责人。

辐射安全管理规章制度

1、辐射安全管理标准

根据《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）的要求，安康体检中心应按照表 12-2 的要求已正式文件的形式对辐射安全管理 进行明确要求。

表 12-2 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
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培训的的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，每季度对辐射工作人员进行个人剂量监测，对剂量超标人员分析原因并及时报告相关部门，保证个人剂量监测档案的连续有效性。
	建立辐射工作人员职业健康体检管理制度，定期对辐射工作人员进行职业健康体检，对体检异常人员及时复查，保证职业人员健康监护档案的连续有效性。
	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），并建立维护与维修工作记录档案（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。
	建立辐射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。
应急管理	结合本单位实际，制定具有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。
--

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）《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) 质量保证大纲
- (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。

建设单位在取得环评批复后，应严格按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的相关要求，申领辐射安全许可证。

2、人员管理培训制度

人员培训：该项目计划配备放射工作人员 12 名，辐射防护负责人和放射工作人员均应参加相应的辐射安全与防护培训学习，并取得合格证书，做到持证上岗。

个人剂量：该项目运行前公司应为放射工作人员配备个人剂量计，委托有资质单位定期对工作人员进行个人剂量检测（每三个月一次），并建立个人剂量档案。

健康管理：公司应安排放射工作人员进行上岗前的职业健康体检，上岗后定期安排放射

工作人员进行职业健康体检，建立放射工作人员职业健康监护档案。

3、辐射安全防护措施

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工作项目表>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，安康东七体检中心应按照标准化建设执行详见表 12-3。

表 12-3 陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表（三）

辐射安全防护措施部分（医疗类）摘要

项目		具体要求	
核 医 学 科	分区	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	合成和操作放射性药物的操作室设置通风橱，并能满足有效通风的要求	
		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	
		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	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
			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	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	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		
	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		
	产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，仅含短半衰期核素的废液在专用容器中存放10个半衰期后，经审管部门审核准许，按普通废液处理。对含长半衰期核素的废液，应专门收集存放		

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“(五) 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。(八) 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

(1) 监测内容: X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污及衰变池废水总 β ;

(2) 监测布点及数据管理: 监测布点应与环评监测布点、验收监测布点一致, 监测数据应记录完善, 并将数据实时汇总, 建立好监测数据台账以便核查;

(3) 监测频度: 对于 X- γ 辐射剂量率和 β 表面沾污应自行配备监测设备每季度监测 1 次, 另外建设单位需委托有监测资质的单位在项目正式投运前开展验收监测, 并在投运后每年定期开展年度监测, 并于每年 1 月 31 日前提交。

(4) 监测范围: 非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等表面沾污, 以及控制区内所有场所及控制区外邻近房间的 γ 辐射剂量率和 β 表面沾污。

(5) 监测设备: X- γ 辐射剂量率监测仪、 β 表面沾污仪。

(6) 质量保证: 制定监测仪表使用、校验管理制度, 并利用上级监测部门的监测数据与建设单位监测仪器的监测数据进行比对, 建立监测仪器比对档案。

本项目监测计划见表 12-4。

表 12-4 监测计划

项目	工作场所	监测项目	监测范围	监测频次	监测设备
自主监测	非密封放射性物质工作场所	β 表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面病房、桌椅等	每季度一次 (记录监测数据存档)	β 表面沾污仪
		γ 辐射剂量率	控制区内所有场所、监督区外邻近房间		X- γ 辐射剂量率监测仪
委托监测	非密封放射性物质	β 表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面病房、桌椅等	(1)竣工环保验收监测; (2)编制辐	表面沾污仪

	工作场所	γ 辐射剂量率	控制区、监督区	射防护年度评估报告（每年）	X-γ 辐射剂量率监测仪
		总 β	衰变池排放口		/
	其它	个人剂量	所有辐射工作人员	一季度一次（需要建立个人剂量档案）	个人剂量计
		γ 辐射剂量率	经过 10 个半衰期衰变后的放射性固废	每次排放前	X-γ 辐射剂量率监测仪
β 表面玷污	表面玷污仪				

环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

1、环境保护投资

本项目总计投资 1200 万元，其中环保投资 150 万元，占总投资的 12.5%，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，具体见环保投资一览表 12-5。

表 12-5 环保投资一览表

序号	名称	价格（万元）
1	个人防护用品	10
2	辐射监测仪器	5
3	标志标识、警示装置	2
4	放射性废物处置	2
5	人员培训	5
6	分装橱	15
7	制度制定	5
8	工作场所的防护设施建设	106
	总计	150 万

2、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，建设单位应按照国家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 12-6。

表 12-6 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	管理制度	质量保障大纲	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）规定的质量保障大纲内容。
2	辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构	成立专门的辐射防护管理小组，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确辐射防护管理小组的主要职责。
3	辐射安全防护措施	安全措施	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。
4	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。
5	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 工作人员配备铅防护服、铅帽、铅围脖等。
		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。
6	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。
7	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工作，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、项目概况以及实践正当性分析

安康东七体检医院有限公司拟租赁安康市汉滨区新城街道办果园社区育才西路 155 号 1 号楼北一至三层建设“安康东七体检中心”，该体检中心一层拟设置分子影像科，使用 1 台正电子发射断层扫描仪（PET-CT）及放射性核素 ^{18}F 进行显像检查。

本项目 ^{18}F 日等效操作量为 $1.78 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年用量为 $4.63 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，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 1 枚 V 类 ^{68}Ge 密封校准源（活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ）。

本项目总计投资 1200 万元，其中环保投资 150 万元，占总投资的 12.5%。

2、本项目选址及平面布置合理性分析

本项目分子影像科位于体检中心一楼，西侧为道路，北侧为衰变池，南侧为接待大厅，东侧为护士站。位置相对独立且封闭，项目建设地点与建材市场相互独立，分子影像科开门方向向道路侧，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

项目建成后可提高体检中心对疾病的诊断能力，更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的体检需要，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) 通过对本项目中 ^{18}F 使用场所（贮存室、注射室）、注射药物患者活动场所（注射后候诊室、PET-CT 扫描室、留观室）周围辐射剂量率估算，辐射工作人员年有效剂量为（0.012~0.083）mSv，公众年有效剂量为（0.06~0.17）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。

(2) 体检中心拟在 PET-CT 检查室北侧建造一个三级衰变池，内设 3 个 2m^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，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 10 个半衰期，经衰变池处理后排入建材市场化粪

池。

放射性核素 ^{18}F 在注射过程中挥发产生少量的放射性气体，PET-CT 在工作状态下产生的 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。分子影像科的 PET-CT 机房设置机械排风系统，通风量为 $950\text{m}^3/\text{h}$ ，通风次数为 8.1 次/h，卫生通过间、污染物贮存间、贮源室等无外窗户房间均设置机械排放系统，卫生间换气次数 3~12 次/h，分装注射室通风橱挥发的放射性核素 ^{18}F 经专用通风管道由风机抽吸至楼顶排放，离心风机的风速为 $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，排气筒排风口设置有活性炭过滤装置，活性炭滤芯每年更换一次。更换的废活性炭，收集与贮存间内暂存 10 个半衰期达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置，采取上述措施后，基本不会对周围造成影响。

分子影像科产生的棉签、手套、口罩、废口杯、擦拭纸巾以及可能沾染放射性药物其他固体放射性废物，按核素种类进行分类收集，放置专用塑料袋内，置于具有防护层的废物桶。待专用塑料袋装满后，并标明核素种类和收集日期，转到放射性废物间暂存，放置核素 10 个半衰期后，放射性核素浓度已达到豁免水平，当作普通医疗废物处理。对于厂家放射性药品配备的注射器，使用后由送药单位交回厂家进行处置。其他废物将其报废的 ^{68}Ge 校准源由生产厂家进行回收处理。

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环境管理制度，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。

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，并留档备查。

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，提高其自身安全防护意识，避免辐射事故的发生。

5、定期检查门机连锁装置、指示灯，确保其处于正常的工作状态，发现问题及时维修。

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时，医护人员必须穿戴防护用品，以合理有效的降低人员受照射剂量。

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。

仅供安康PET-CT项目报批使用

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

仅供安康PET-C项目报批使用