

核技术利用建设项目

西安中医脑病医院新建 PET-CT 中心及  
医用血管造影 X 射线系统 (DSA) 核技  
术利用项目

环境影响报告表

西安中医脑病医院

二〇一九年二月

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用血管造影X射线系统(DSA)核技术利用项目公示使用

# 核技术利用建设项目

## 西安中医脑病医院新建 PET-CT 中心及 医用血管造影 X 射线系统 (DSA) 核技 术利用项目 环境影响报告表

建设单位名称：西安中医脑病医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：西安市矿山路 368 号

邮政编码：710032

电子邮箱：40112230@qq.com

联系人：王朝峰

联系电话：18066857395

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用血管造影X射线系统(DSA)核技术利用项目公示使用

表 1 项目概况

建设项目名称		西安中医脑病医院新建 PET-CT 中心及医用血管造影 X 射线系统 (DSA) 核技术利用项目				
建设单位		西安中医脑病医院				
法人代表	宋虎杰	联系人	王朝峰	电话	18066857395	
注册地址		西安市矿山路 368 号				
项目建设地点		非密封源工作场所 (PET-CT 中心): 西安中医脑病医院 1 号楼 (残障儿童门诊住院康复楼) 地下二层 医用血管造影 X 射线系统 (DSA 机房): 西安中医脑病医院 3 号楼 (综合康复楼) 一层影像科				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		1830	环保投资 (万元)	208	投资比例 11.37	
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 <sup>2</sup> )	650.5
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类				
其他	/					
<p><b>一、建设单位简介</b></p> <p>西安中医脑病医院是陕西中医药大学、西安医学院两所大学的附属医院，是陕西省中医药管理局批准和直管的三级甲等中医专科医院，开放床位 1000 张。医院主要从事脑积水、脑梗、智力低下、孤独症、癫痫、植物人、中风、脑外伤、脑肿瘤、渐冻人等脑病的诊疗与康复。西安中医脑病医院是国家、省、市残联确定的残疾人康复人才培养基地，先后完成了各级残联下达的肢体矫治手术、运动功能障碍、智力障碍、脑瘫、孤独症等残疾患者的康复训练任务。</p>						

近年来，在“一专两心三佳四型五位一体”发展战略引领下，秉承“德勤精诚，爱脑济民”的院训，内强素质，外塑形象，全面提升医疗服务质量，现已基本形成集医疗、教学、科研、文化、连锁为一体，以西安为中心，面向全国，辐射国外的医疗格局，努力把医院建设成规模适度、功能完善、环境优美、设施完备、管理规范、技术精湛的三级甲等示范中医专科医院。

西安中医脑病医院地理位置见图 1-1，医院周边环境关系见图 1-2。

## 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，西安中医脑病医院在医院 3 号楼（综合康复楼）一层影像科建设 1 座 DSA 机房，内设 1 台 Allura Centron 型医用血管造影 X 射线系统（DSA）；在医院 1 号楼（残障儿童门诊住院康复楼）地下二层设置 1 个 PET-CT 中心，使用放射性核素  $^{18}\text{F}$ ，用于对患者进行放射性诊疗。DSA 机房及 PET-CT 中心在医院内的位置见图 1-3。

为了加强放射源及射线装置在应用中的辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保放射源及射线装置的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，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，西安中医脑病医院新建 PET-CT 中心及医用血管造影 X 射线系统（DSA）核技术利用项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境保护分类管理名录》（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 PET-CT 中心为乙级工作场所，医用血管造影 X 射线系统（DSA）为 II 类射线装置，根据上述规定，应编制环境影响报告表。



图 1-1 医院地理位置图



图 1-2 医院周边环境关系图

核技术利用项目公示使用  
 放射系统 (DSA)  
 中心及医用血管造影  
 PET-CT  
 新建  
 西安中医脑病医院

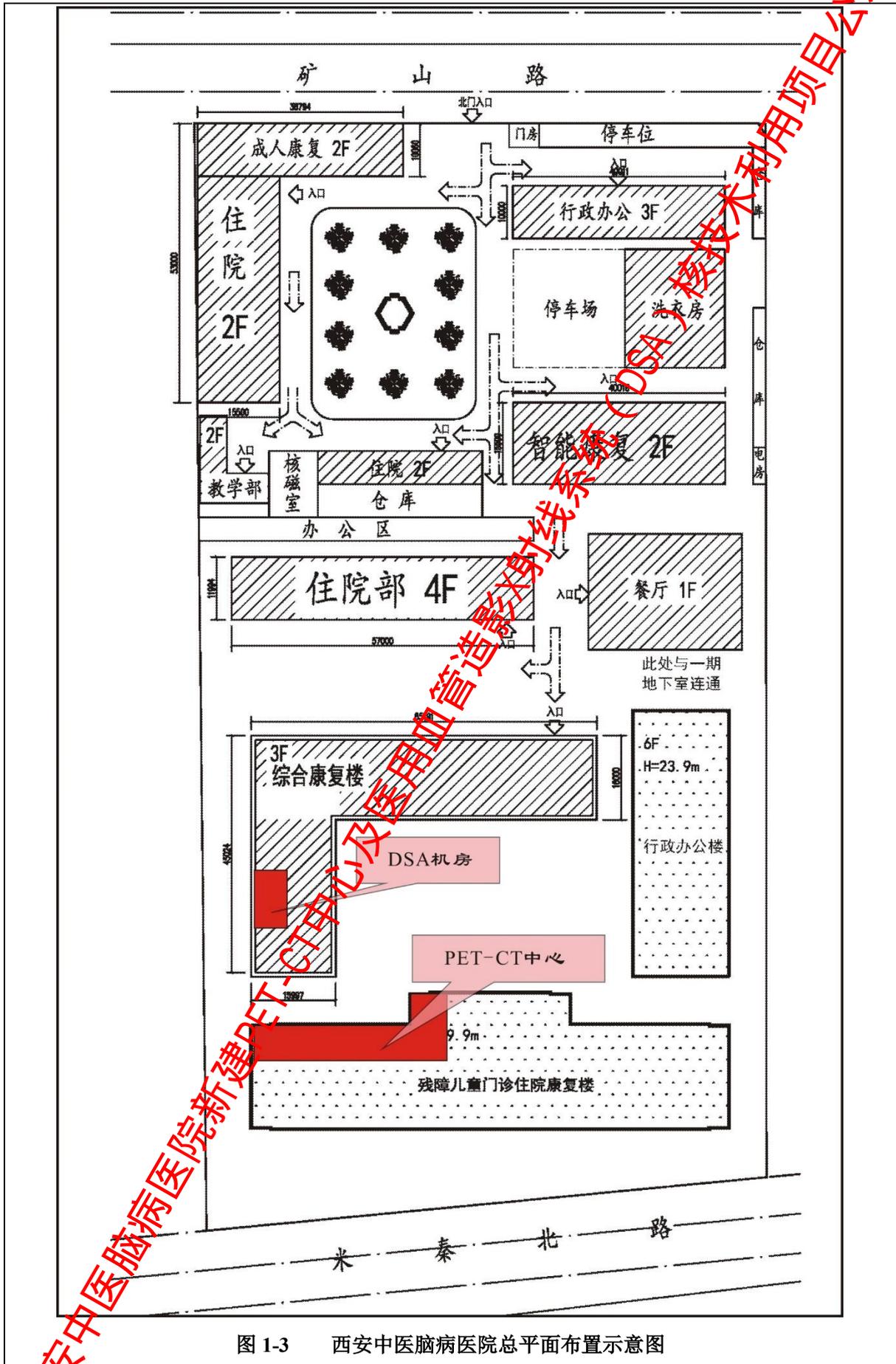


图 1-3 西安中医脑病医院总平面布置示意图

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用血管造影X射线系统(DSA)机房技术利用项目公示使用

为此，西安中医脑病医院于 2018 年 10 月 31 日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《西安中医脑病医院新建 PET-CT 中心及医用血管造影 X 射线系统（DSA）核技术利用项目环境影响报告表》。

### 三、核技术利用现状

西安中医脑病医院影像科现有 DR 机房、16 排 CT、64 排 CT 等设备均为 II 类射线装置，已于 2019 年 1 月 31 日在“建设项目环境影响评价备案系统（陕西省）”上进行备案登记（备案号为：201961011100000068），其核技术利用项目环保执行情况如表 1-1 所示。

西安中医脑病医院暂未申领辐射安全许可证。

表 1-1 西安中医脑病医院核技术利用项目环保执行情况一览表

项目名称	设备名称	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	使用位置
西安中医脑病医院新增 3 台射线装置应用	DR	AF52-80	125	500	医院 3 号楼（综合康复楼）一层影像科 DR 机房
	全身 X 射线计算机断层扫描系统（CT）	Light Speed VCT	140	500	西安中医脑病医院 3 号楼（综合康复楼）一层影像科一层 CT 第一检查室
	全身 X 射线计算机断层扫描系统（CT）	Brivo CT 385	140	200	西安中医脑病医院 3 号楼（综合康复楼）一层影像科一层 CT 第二检查室

#### 四、项目规模

##### 1、PET-CT 中心

###### (1) PET-CT 工作场所位置及选址合理性

本次新建 PET-CT 中心位于医院 1 号楼（残障儿童门诊住院康复楼）地下二层，东侧为电梯间，南侧为停车区域、西侧为楼梯间，楼上为档案室、办公室、医疗废物暂存间及地下车库通道，北侧和地下无建构物。PET-CT 中心由车库改造而成，不新增用地，占地属于医疗用地，符合规划要求；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，选址基本合理。

###### (2) PET-CT 中心平面布置

本次新建 PET-CT 中心主要由问询室、储存间、候诊区、注射室、标记/质控室、抢救室、药后候诊室、PET-CT 机房、控制室、留观室、医生办公室、主任办公室、读片室/会议室等组成。患者、工作人员和药物均设独立线路，不存在交叉影响，平面布置基本合理。

PET-CT 中心平面布置见图 1-4 和图 1-5。

###### (3) 放射性核素使用情况

本项目 PET-CT 中心拟使用放射性核素  $^{18}\text{F}$  对患者进行诊疗，年最大用量为  $1.48 \times 10^{12}\text{Bq}$ （年使用天数以 200d 计），设备中配套有 3 枚  $^{68}\text{Ge}$  密封放射源，活度为  $4.625 \times 10^7\text{Bq}$ （1.25mCi）~ $9.25 \times 10^7\text{Bq}$ （2.5mCi），为 V 类密封放射源，用于对仪器设备的校准，确保诊断结果的准确性。

###### (4) 非密封源工作场所的分级

###### ① 非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封源工作场所按操作的放射性核素日等效最大操作量可分为甲、乙、丙级。具体见表 1-1。

表 1-1 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~ $2 \times 10^7$

###### ② 放射性核素的日等效操作量的计算

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

因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 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

表 1-3 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体, 溶液, 悬浮液	表面由污染的 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

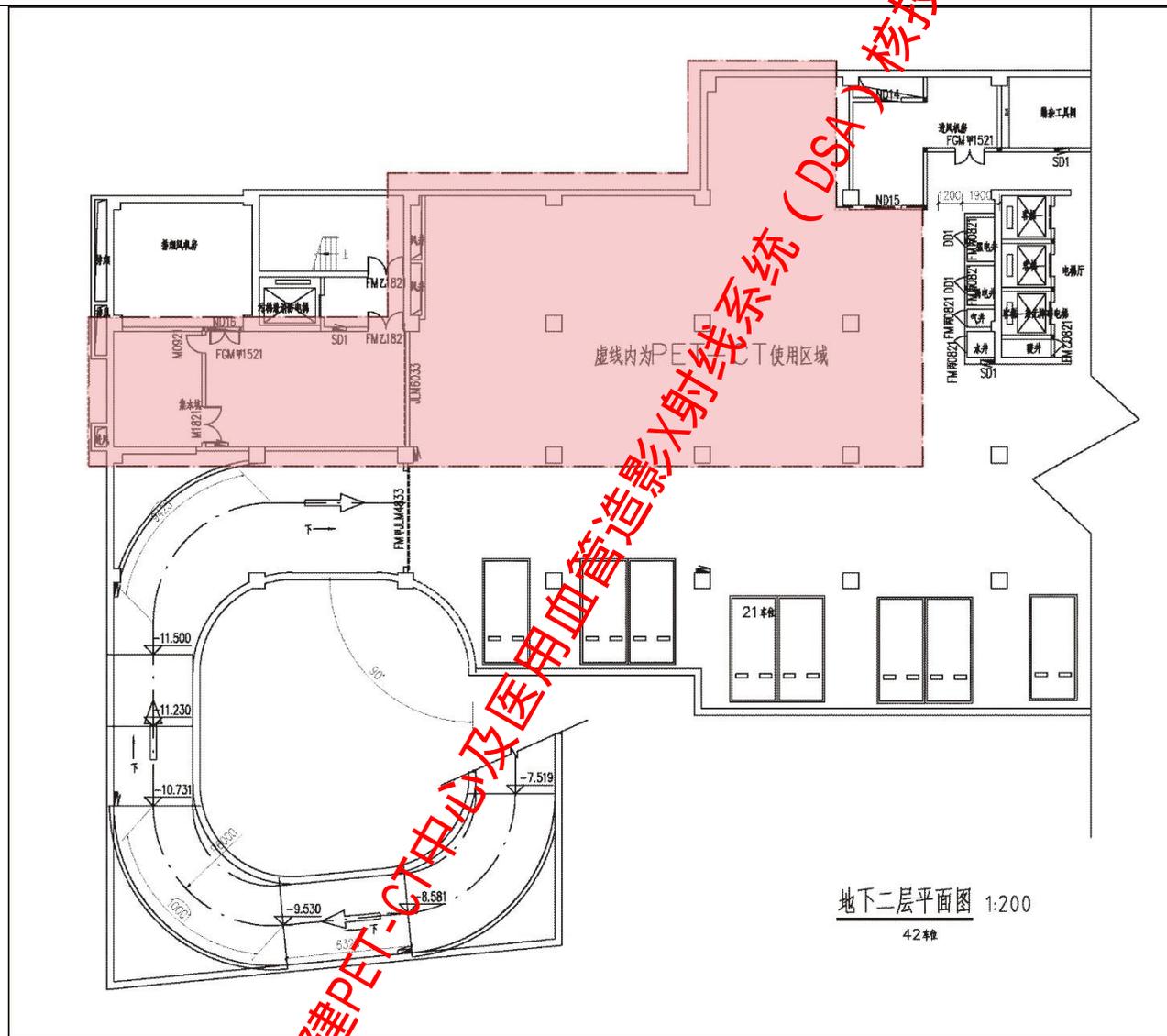
③ PET-CT 中心非密封源工作场所分级

本项目 PET-CT 中心拟使用放射性核素  $^{18}\text{F}$  对患者进行诊疗, 年最大用量为  $1.48 \times 10^{12}\text{Bq}$ , 其非密封源的工作场所等级计算结果见表 1-4。

表 1-4 放射性同位素日等效操作量及工作场所分级

核素名称	$^{18}\text{F}$	备注
毒性修正因子	0.01	低毒
操作方式修正因子	1	液体, 简单操作
日等效操作量计算	$1.48 \times 10^{12} / 200 \times 0.01 / 1$	年工作时间以 200d 计
日等效操作量 (Bq)	$7.4 \times 10^7$	/
工作场所等级	乙级	/

根据放射性核素  $^{18}\text{F}$  的日等效操作量计算结果, 西安中医脑病医院 PET-CT 中心按非密封源工作场所等级标准判别为乙级工作场所。



地下二层平面图 1:200  
42轴

图 1-4 PET-CT 工作场所位置



## 2、医用血管造影 X 射线系统

### (1) DSA 机房位置

西安中医脑病医院本次拟在医院 3 号楼一楼影像科设置 1 座 DSA 机房，新增使用 1 台 Allura Centron 型医用血管造影 X 射线系统（DSA），为 II 类射线装置。

### (2) DSA 机房建设过程

本项目 DSA 机房由 B 超室改造而成，机房之前未从事过放射性及其他污染性活动，不存在原有污染和环境遗留问题，目前 DSA 机房基本建成，Allura Centron 型医用血管造影 X 射线系统（DSA）已安装完成，待环保手续完善后正式启用。

### (3) 医用血管造影 X 射线系统（DSA）基本情况

本次新增医用血管造影 X 射线系统（DSA）设备具体情况见表 1-5。

表 1-5 医用血管造影 X 射线系统（DSA）设备详情

设备名称	医用血管造影 X 射线系统（DSA）
型号	Allura Centron
设备编号	ANURA CENTROR
生产厂家	飞利浦（中国）投资有限公司
电源连接条件，输入功率	3-380V，50Hz，80A
主要参数	电压：125kV，电流：1250mA

### (4) DSA 机房基本情况

本项目 DSA 机房已建成，根据设计及现场调查，DSA 机房具体情况见表 1-6。

表 1-6 DSA 机房详情

DSA 机房及 辅助工程	DAS 机房	4.5m×6.9m
	控制室	3.5m×3.2m
	洗手准备室	3.5m×3.443m+3.5m×3.6m
	设备间	3.0m×3.2m
	污物间	2.367m×3.2m
	病人缓冲间	2.45m×2.4m
DSA 机房周 边情况	场所位置	位于 3 号楼影像科一楼西排靠南处
	西侧	机房控制室
	北侧	洗手准备室、更衣室
	东侧	影像科过道
	南侧	病人缓冲间、信息科机房
	楼上 楼下	住院部外科病房 土层（无构筑物）

### (6) DSA 机房布局合理性分析

本项目 DSA 机房位于医院 3 号楼 1 楼影像科；由 B 超室改造而成，机房不新增用地，占地属于医疗用地，符合规划要求，选址合理。

DSA 机房面积为 31.05m<sup>2</sup>，机房西侧为控制室，北侧为洗手准备室、更衣室，东侧为影像科过道，南侧为病人缓冲间和信息科机房；机房上方为外科病房；下方无建构物。机房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，平面布局基本合理。

影像科 DSA 机房平面布置及剖面见图 1-6，DSA 机房从剖面图见图 1-7。

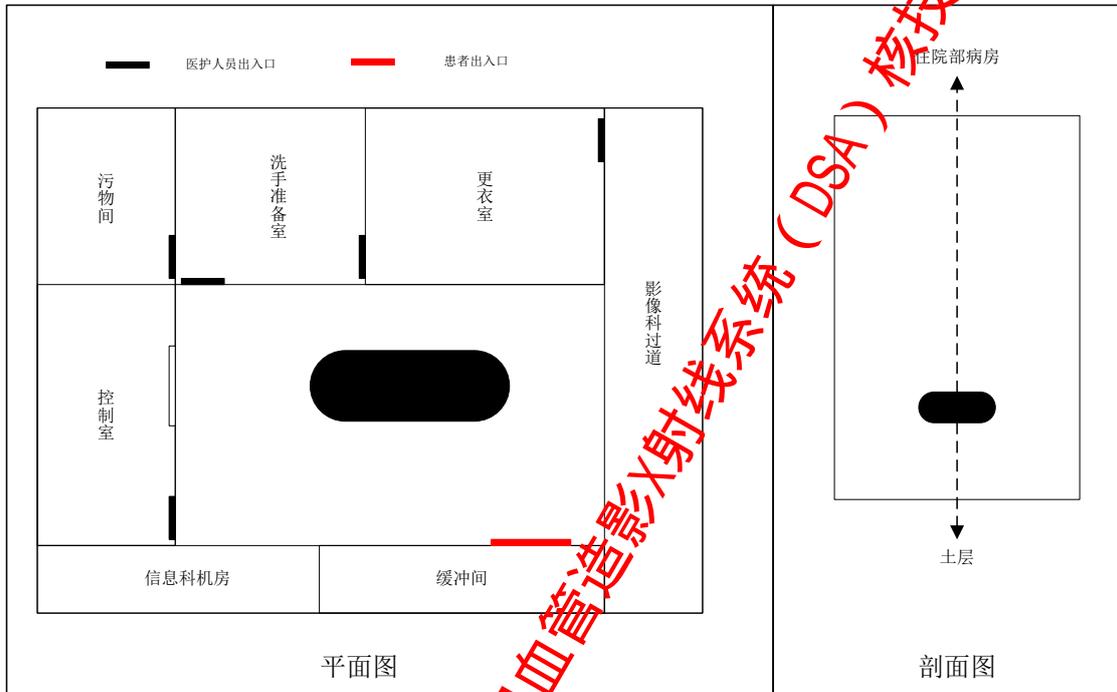


图 1-6 DSA 机房平面布置及剖面示意图

## 五、评价目的

(1) 对医院放射性核素的工作场所及医用血管造影 X 射线系统 (DSA) 工作时产生的辐射环境影响进行预测分析，确保该工作场所核素使用过程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) 对放射性核素及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治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

(3) 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	<sup>68</sup> Ge	9.25×10 <sup>7</sup> Bq/4.625×10 <sup>7</sup> Bq (1.25mCi) ×2	V类	使用	仪器校准	PET-CT 中心	PET-CT 仪器内	2 个线源
2	<sup>68</sup> Ge	9.25×10 <sup>7</sup> Bq/9.25×10 <sup>7</sup> Bq (2.5mCi) ×1	V类	使用	仪器校准	PET-CT 中心	PET-CT 仪器内	1 个棒源
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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。

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	<sup>18</sup> F	液态	使用	7.4×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>9</sup>	1.48×10 <sup>12</sup>	核素诊疗	简单操作	PET-CT 中心	针剂，暂存于药品暂存柜内
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	医用血管造影 X 射线系统 (DSA)	II类	1 台	Allura Centron	125	1250	诊断、介入治疗	DSA 机房	/
2	PET-CT	III类	1 台	Umi 550	140	420	医疗诊断	PET-CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) 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
放射性废水	液体	$^{18}\text{F}$	$1.45 \times 10^6$ Bq	26.3m <sup>3</sup>	316m <sup>3</sup>	$< 9.15 \times 10^{-2}$ Bq/L	放射性废水衰变系统（有效容积为3×2m <sup>3</sup> ）	暂存满足10个半衰期后经医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网
沾染非密封放射性物质的废弃物	固体	$^{18}\text{F}$	$9.03 \times 10^3$ Bq	16.7kg	200kg	$< 9.03$ Bq/g	注射室内设专用放射性废物桶暂存，分类收集后送废品暂存柜存放	自然衰变13个半衰期（约24h）后做普通医疗废物处理
退役校准源	固体	$^{68}\text{Ge}$	/	/	/	/	/	由厂家回收或送城市放射性废物库处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/m<sup>3</sup>）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&lt;放射性同位素与射线装置安全许可管理办法&gt;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&lt;射线装置分类&gt;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&lt;陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表&gt;的通知》（陕环办发〔2018〕29 号）。</p>
技术标准	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(2) 《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>(3) 《医疗照射放射防护基本要求》（GBZ179-2006）；</p> <p>(4) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；</p> <p>(5) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(6) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>(7) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(8) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p>

	<p>(9) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)。</p>
其他	<p>(1) 西安中医脑病医院新建 PET-CT 中心及医用血管造影 X 射线系统(DSA)核技术利用项目环境影响评价委托书; 2018 年 11 月;</p> <p>(2) 《西安中医脑病医院非密封源工作场所及医用射线装置核技术利用项目辐射环境现状监测报告》(报告编号: XAZC-JC-2019-007), 西安志诚辐射环境检测有限公司, 2019 年 1 月;</p> <p>(3) 《西安中医脑病医院 CT、DSA 机房改建项目职业病危害放射防护控制效果评价报告表》(报批稿), 陕西思迈奥健康科技服务有限公司, 2018 年 11 月; 建设单位、设计单位提供的相关资料。</p>

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用血管造影X射线系统(DSA)核技术利用项目公示使用

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目的辐射环境污染为能量流污染，根据其能量流的传播与距离相关的特性，结合《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）规定：“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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”，本项目 PEC-CT 中心和 DSA 机房均设有实体边界，确定评价范围为 PEC-CT 中心和 DSA 机房周围 50m 区域。评价范围参见图 7-1。

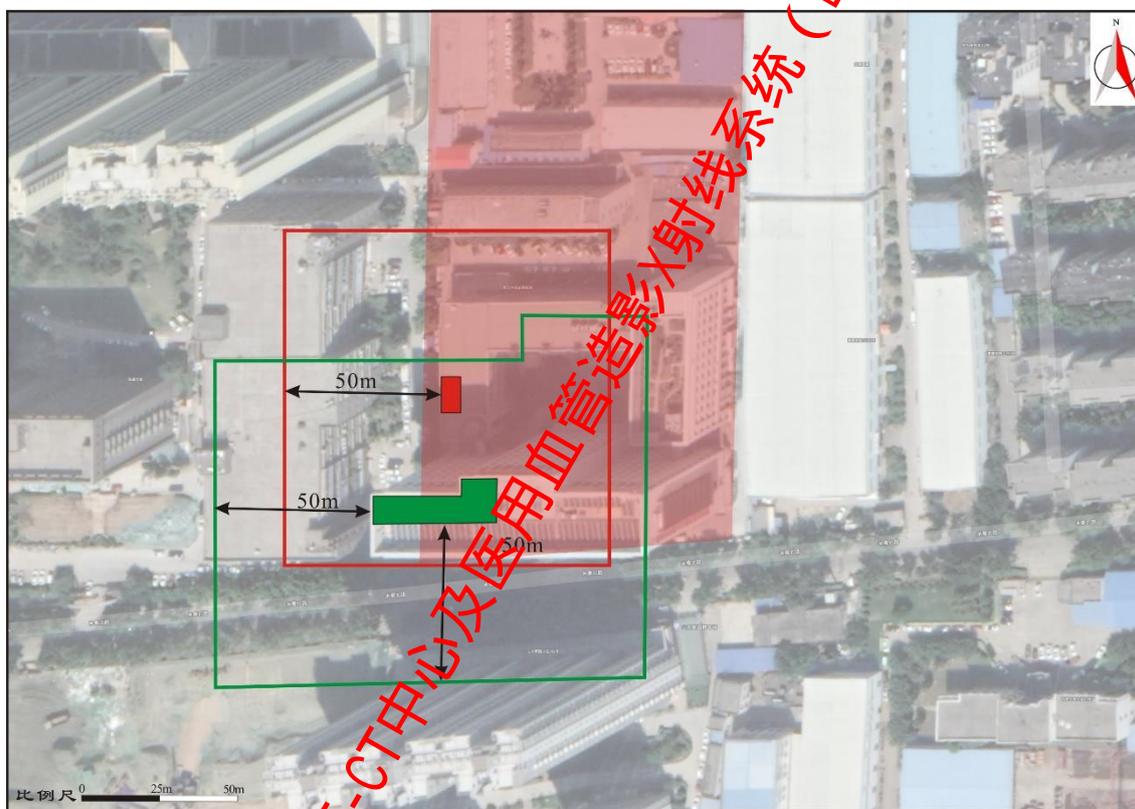


图 7-1 项目评价范围图

### 保护目标

本项目环境保护目标主要为原从事 PET-CT、DSA 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 和表 7-2。

表 7-1 PET-CT 中心主要环境保护目标一览表

保护目标类别	方位	场所	主要环境保护目标	规模	保护要求	备注
职业人员	PET-CT 中心内	注射室	核素操作人员	2 人	5mSv/a	地下二层
		控制室	PET-CT 操作人员	2 人		
公众	东侧	医生办公室、问询室	其他医护人员、患者、陪同家属	约 6 人	0.25mSv/a	地下二层
		候诊区、电梯间	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群		
		行政办公楼	其他医护人员	约 300 人	0.25mSv/a	2 号楼
	南侧	地下车库行车道及停车区	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群	0.25mSv/a	地下一层、二层
		米秦北路	临时路过人群	流动人群	0.25mSv/a	/
	西侧	主任办公室	其他医护人员、患者、陪同家属	约 3 人	0.25mSv/a	地下二层
		会议室	其他医护人员	约 8 人		
		卫生间、楼梯间	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群		
		陆通大楼	其他公司职员	约 200 人	0.25mSv/a	/
	北侧	停车区	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群	0.25mSv/a	地下一层、二层
		综合康复楼	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群	0.25mSv/a	/
	楼上	医疗固废暂存间、办公室及档案室	其他医护人员	2 人	0.25mSv/a	地下一层
		地下车库行车道	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群		
残障儿童门诊住院康复楼-门诊		其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群	0.25mSv/a	1 号楼一层、二层	
残障儿童门诊住院康复楼-住院		其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群		1 号楼三层及以上	

表 7-2 医用血管造影 X 射线系统 (DSA) 主要环境保护目标一览表

保护目标类别	方位	场所	主要环境保护目标	规模	保护要求	备注
职业人员	DSA 机房	DSA 机房	接入手术医护人员	4 人	5mSv/a	3 号楼一层
		控制室	DSA 设备操作人员	2 人		
公众	东侧	影像科其他办公室	其他医护人员、患者、陪同家属	约 8 人	0.25mSv/a	3 号楼一层
		影像科过道、卫生间	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人员		
	南侧	残障儿童门诊住院康复楼-门诊	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群	0.25mSv/a	1 号楼一层、二层
		残障儿童门诊住院康复楼-住院	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群		1 号楼三层及以上
	西侧	医院内道路	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人员	0.25mSv/a	/
		陆通大楼	其他公司职员	约 150 人		
	北侧	影像科其他办公室	其他医护人员、患者、陪同家属	约 6 人	0.25mSv/a	3 号楼一层
		综合康复楼-住院部	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群	0.25mSv/a	3 号楼二层、三层
	楼上	综合康复楼-住院部	其他医护人员、患者、陪同家属	流动人群	0.25mSv/a	3 号楼二层、三层

## 评价标准

### 一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

#### 1、标准相关内容

标准附录 B 剂量限值 and 表面污染控制水平

##### B1 剂量限值

###### B1.1 职业照射

###### B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 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：

a) 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；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；

d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

###### B1.2 公众照射

###### B1.2.1 剂量限值

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：

a) 年有效剂量，1mSv；

b) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

c) 眼晶体的年当量剂量，15mSv；

d) 皮肤的年当量剂量，50mSv。

##### B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如 B11 所列（见表 7-3）。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		$\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-1</sup>

B2.2 工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11（表 7-1）中所列设备的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。

## 2、环评要求年管理剂量约束值及控制水平

### (1) 年管理剂量约束值

综合考虑医院核技术利用项目的现状，并着眼于长期发展，为其它辐射设施和实践活动留有余地，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：

① 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；

② 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) 污染控制水平

本次 PET-CT 工作场所内的设备、设施、物品（料）和相关场地地面、墙面的放射性表面污染按表 7-3 执行。

## 二、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

### 1、标准相关内容

#### 4.1 污水排放要求

4.1.2 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 2（见表 7-4）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 7-4 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		排放标准	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粪便水）先经衰变池存放 10 个半衰期以上，排入市政污水管网至市政污水处理厂处理后排放。医院衰变池排放口废水执行《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 $<10\text{Bq/L}$ 。

### 三、《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

#### 1、标准相关内容

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。

4.7 介入放射学、近台同室操作(非普通荧光屏透视)用 X 射线设备防护性能的专用要求

4.7.1 透视曝光开关应为常断式开关,并配有透视限时装置。

4.7.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

4.7.3 X 射线设备应配备能阻止使用胶皮距小于  $20\text{cm}$  的装置。

4.7.4 X 射线设备的受检者入射体表空气比释动能率应符合 WS76 的规定。

4.7.5 X 射线设备在确保铅屏风和床侧铅挂帘等防护设施正常使用的情况下,按附录 B 中 B.1.2 的要求,在透视防护区测试平面上的空气比释动能率应不大于  $400\mu\text{Gy/h}$ (按附录 C 图 C.3 的要求)。

5 X 射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 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。

5.2 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 7-5 要求。

表 7-5 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 $\text{m}^2$	机房内最小单边长度 $\text{m}$
CT 机	30	4.5
双管头或多管头 X 射线机 <sup>a</sup>	30	4.5
单管头 X 射线机 <sup>b</sup>	20	3.5
...	.....	.....

<sup>a</sup> 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。

<sup>b</sup> 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。

<sup>c</sup> 透视专用机指无诊断床、标称管电流小于  $5\text{mA}$  的 X 射线机。

5.3 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 7-6 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附录 D。

表 7-6 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
标称 125kV 以上的摄影机房	3	
.....	.....	.....
介入 X 射线设备机房	2	2
CT 机房	2 (一般工作量) <sup>a</sup> 2.5 (较大工作量) <sup>a</sup>	

<sup>a</sup>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。

d) 带有自屏蔽防护或距 X 射线设备表面 1m 处辐射剂量水平不大于  $2.5\mu\text{Gy/h}$  时，可不使用带有屏蔽防护的机房。

5.4 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（其检测方法按 7.2 和附录 B 中 B.6 的要求）：

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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

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  $0.25\text{mSv}$ ；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

5.5 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。

5.6 机房内布局合理，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杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

5.7 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，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

5.8 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。

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-7 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 0.250mPb；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。

5.10 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

表 7-7 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）或方 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 防护吊帘、床侧防 护屏、床侧防护帘 选配：移动铅防 护屏	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。

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

1、医院地理位置

西安中医脑病医院位于西安市矿山路 368 号。医院地理位置见图 1-1，周边环境关系见图 1-2。

2、场所位置

本次 PET-CT 工作场所位于医院 1 号楼（残障儿童门诊住院康复楼）地下二层；DSA 机房位于医院 3 号楼（综合康复楼）一层影像科。

PET-CT 中心及 DSA 机房在医院内的位置见图 1-3。

二、环境质量现状

为了解西安中医脑病医院非密封源工作场所（PET-CT 中心）及医用血管造影 X 射线系统（DSA 机房）拟建场址周围的辐射环境水平，本次环境质量现状调查采取现场实测的方式进行。

本次辐射环境现状委托西安志诚辐射环境检测有限公司于 2018 年 12 月 28 日对本项目拟建地及周边的辐射环境现状进行监测（报告编号：XAZC-JC-2019-007），监测报告详见附件。

1、监测项目及监测点位

① 监测因子

X- $\gamma$  辐射剂量率。

② 监测点位

在医用射线装置实体屏蔽外，以人员活动处为主的原则进行布点：在 DSA 机房 4 个防护墙外 0.3m 处进行巡测；PET-CT 中心拟建场址巡测。

本次 DSA 机房辐射环境现状监测点位见图 8-1；本次 PET-CT 中心环境现状监测点位见图 8-2。

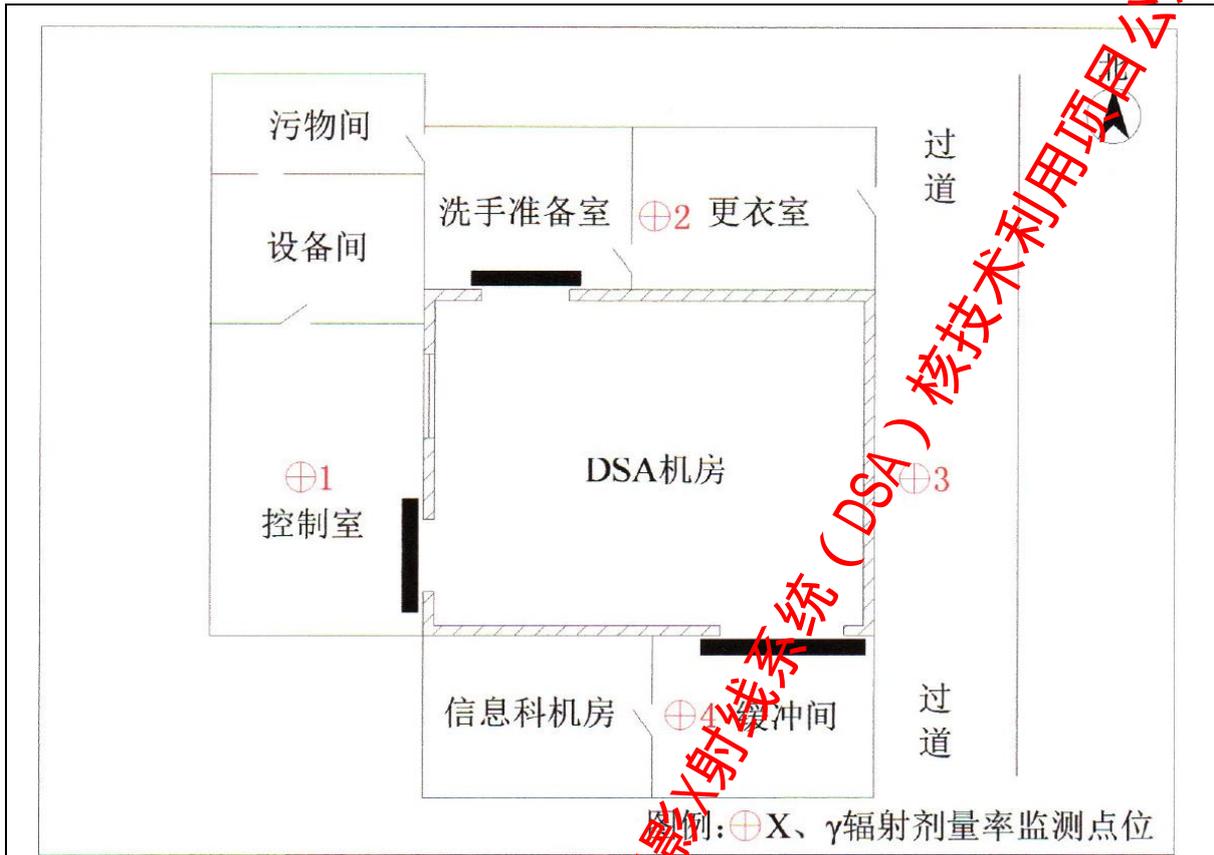


图 8-1 DSA 机房辐射环境现状监测点位示意图

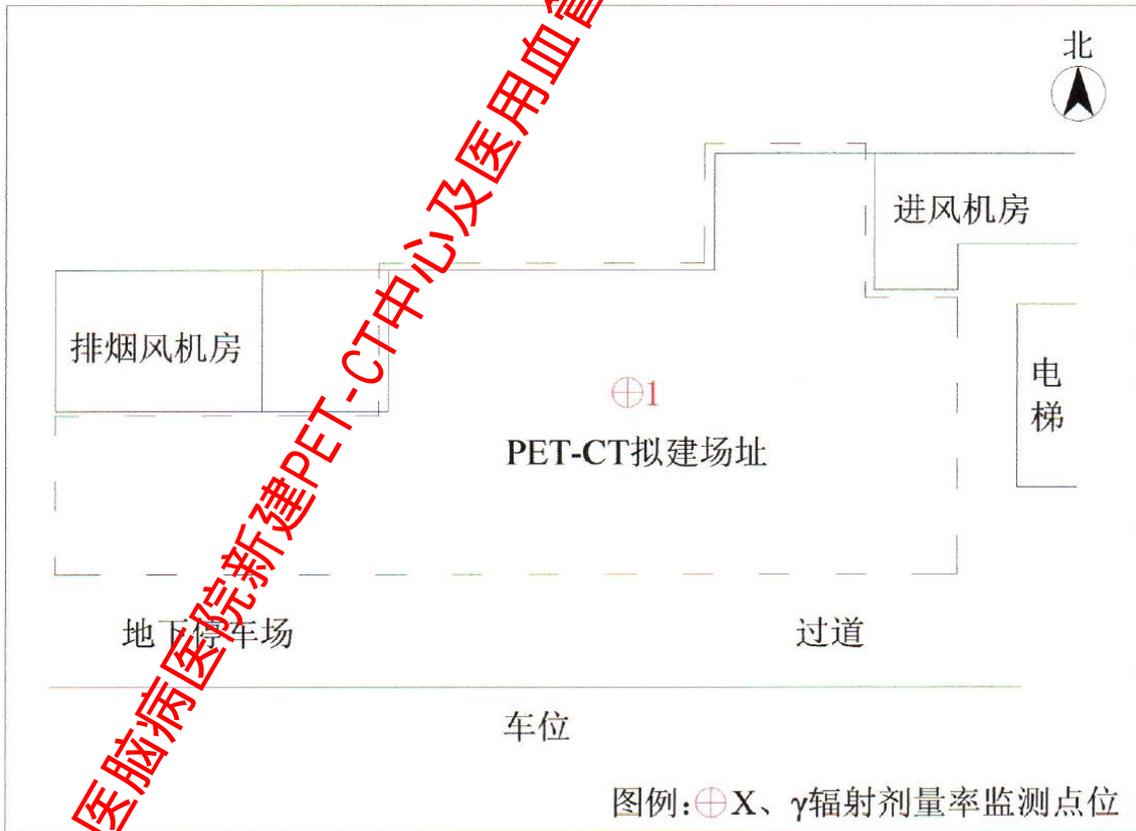


图 8-2 PET-CT 中心辐射环境现状监测点位示意图

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用血管造影X射线系统(DSA)核技术利用项目公示使用

## 2、监测时间及环境条件

本次现状监测委托西安志诚辐射环境检测有限公司进行实测。监测时间及监测环境条件见表 8-1。

表 8-1 监测时间及环境条件

日期	时间	天气	温度 (°C)	湿度 (%)
2018 年 12 月 28 日	14:30~16:00	晴	-1	64

## 3、监测使用仪器

本次现状监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测仪器信息一览表

仪器名称	环境监测用 X、 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仪
仪器型号	FD 3013H
仪器编号	XAZC-YQ-003
测量范围	0.04 $\mu$ Sv/h~200 $\mu$ Sv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书编号	2018H21-20-1516520001
有效日期	2018.7.13~2019.7.12

## 4、质量保证措施

按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 704-2001) 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。

## 5、监测结果

中医脑病医院非密封源工作场所 (PET-CT 中心) 及医用血管造影 X 射线系统 (DSA 机房) 拟建场址周围的辐射环境现状监测结果见表 8-3。

表 8-3 中医脑病医院 X、 $\gamma$  辐射剂量率监测结果一览表

监测场所	监测项目点位描述	X、 $\gamma$ 辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	
		测值范围	均值
DSA 机房	控制室巡测	0.08~0.09	0.09
	东墙外巡测 (更衣室)	0.08~0.12	0.10
	东墙外巡测 (过道)	0.08~0.10	0.09
	南墙外巡测 (机房)	0.08~0.11	0.10
	室内背景值	0.08~0.10	0.09
PET-CT 中心	拟建场址巡测	0.07~0.09	0.08
	室外草坪 (背景值)	0.08~0.12	

注: 本次监测结果未扣除宇宙射线响应值。

## 6、对环境现状调查结果的评价

现场监测结果表明：DSA 机房 4 个防护墙外 0.3m 处 X、 $\gamma$  辐射剂量率为 0.08~0.12 $\mu$ Sv/h，DSA 机房室内（背景值）X、 $\gamma$  空气吸收剂量率为 0.08~0.10 $\mu$ Sv/h；PET-CT 中心拟建场址处 X、 $\gamma$  辐射剂量率为 0.07~0.09 $\mu$ Sv/h；西安中医脑病医院室外草坪（背景值）X、 $\gamma$  辐射剂量率为 0.08~0.12 $\mu$ Sv/h。

根据《2018 年 3 季度陕西省辐射环境质量》，2018 年第 3 季度，我省 5 个辐射环境自动监测站空气吸收剂量率连续监测结果排除降雨（雪）等自然因素的影响，未见异常，处于当地天然本底涨落范围内，空气吸收剂量率监测结果为 69.2~96.7nGy/h。

根据《陕西省环境伽马辐射剂量水平现状研究》1988 年报告（全省室内为 0.087~0.203 $\mu$ Gy/h，平均值为 0.130 $\mu$ Gy/h，室外为 0.066~0.188 $\mu$ Gy/h，平均值为 0.099 $\mu$ Gy/h。

可见，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，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，同时释放出两个方向相反互为  $180^\circ$  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。

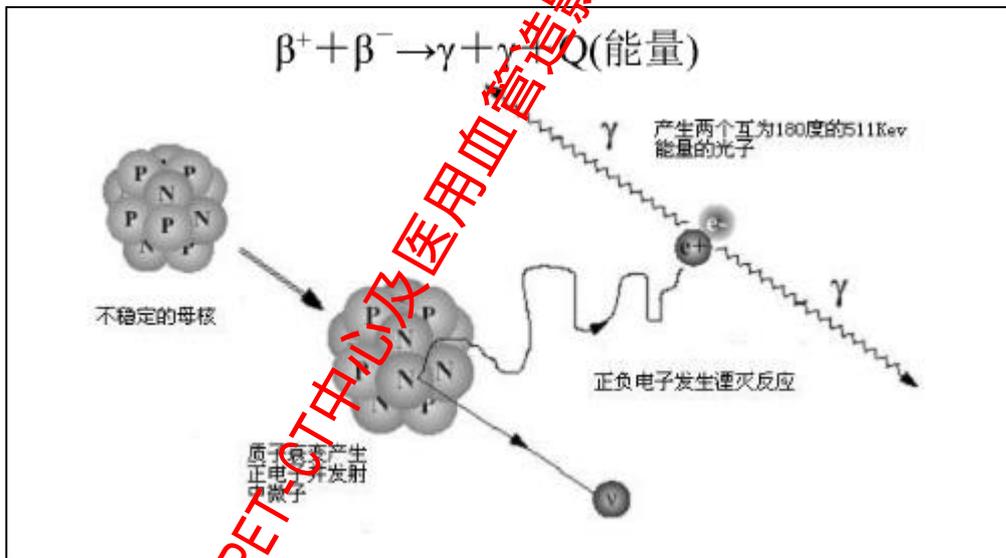


图 9-1 正电子发射及其湮灭

(2) PET-CT 的成像原理

PET (正电子发射断层显像仪) 成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。

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，在清晰地显示集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、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  $^{18}\text{F}$ -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。

## 2、操作流程及产污环节

PET-CT 整体工艺及操作流程如下：

- ① 医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素及其剂量；
- ② 医院向专业医药公司定药，医药公司按照医院要求在规定时间内将已分装好的针剂送到医院，暂存于药品暂存柜中；
- ③ 给病人注射药物（静推给药）；
- ④ 医护人员为患者注射药物注射后患者在药后候诊室停留一定时间（约 40~60min）；
- ⑤ 病人进入 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（约 30min），无碍后由病人专用出口离开。

## 2、PET-CT 正常工况污染途径

- ① 本项目 PET 使用  $^{18}\text{F}$  放射性药物为注射针剂，放射性药物衰变产生  $\gamma$  射线对工作人员在注射过程和对病人进行检查时产生一定照射；

- ② CT 扫描时产生的 X 射线对操作人员和公众产生一定的影响；
  - ③ 使用的  $^{18}\text{F}$  药物为注射针剂，注射过程中产生的注射针管、药瓶、棉签、手套等放射性固体废物；
  - ④ 注射放射性药物被检人员产生的排泄物和擦洗台面的废水都属于放射性废液；
  - ⑤ 校准源  $^{68}\text{Ge}$  储存和使用过程中产生的  $\gamma$  射线对外环境的影响。
- 其操作流程及产污环节见下图 9-2。

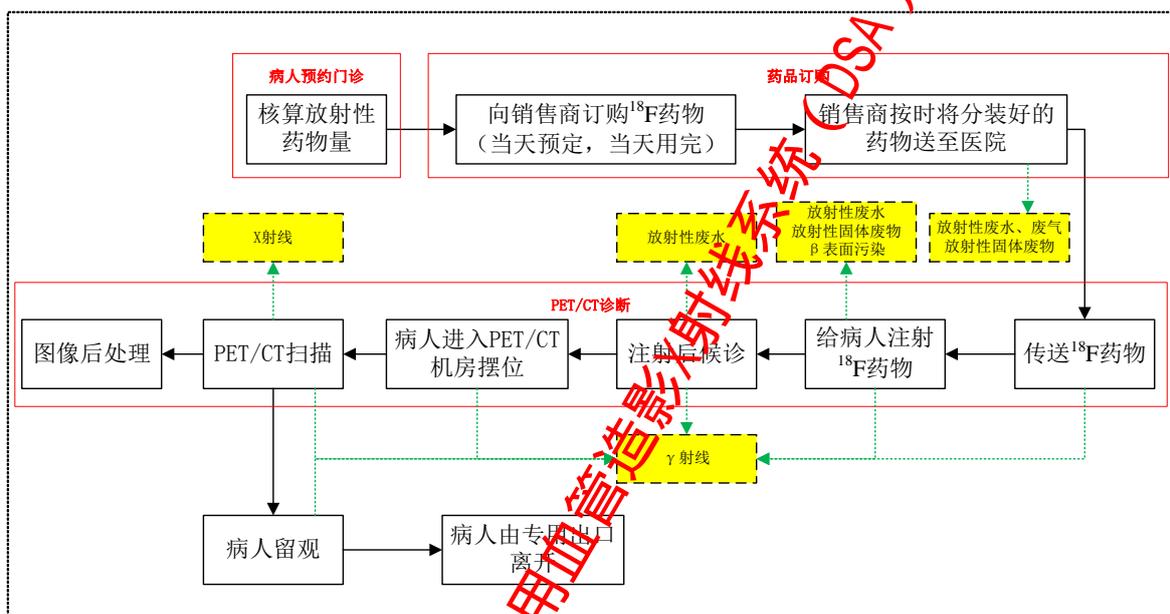


图 9-2 PET-CT 诊疗检查流程及产污环节示意图

## 二、医用血管造影 X 射线系统 (DSA)

### 1、DSA 工作原理

DSA (Digital Subtraction Angiography, 数字减影血管造影系统), 又称大 C 臂机。DSA 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, 得到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 X 射线机处理的图像, 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

DSA 基本设备包括 X 线发生器、影像增强器、电视透视、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。

本项目使用的 Allura Centron 型医用血管造影 X 射线系统（DSA）设备见图 9-4。

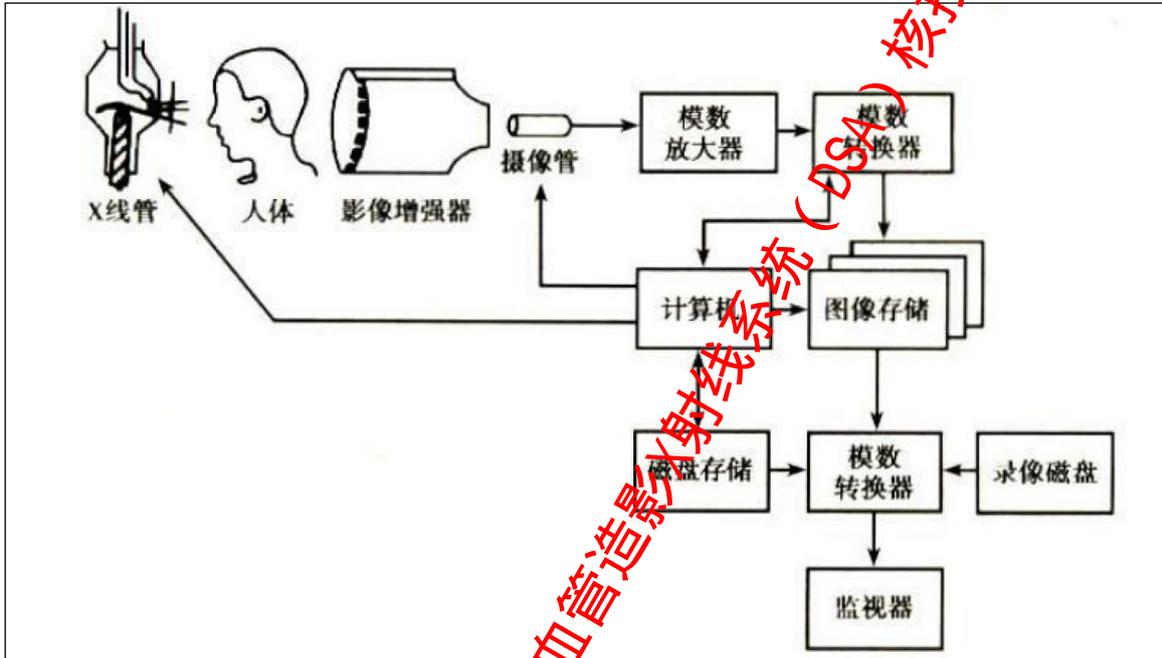


图 9-3 DSA 典型设备组成结构



图 9-4 医用血管造影 X 射线系统 (DSA)

### 3、操作流程

DSA 装置诊疗时，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，探查结束后撤出导管，穿刺部位止血包扎。

#### (1) 操作方式

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

- ① 第一种情况，采集。
- ② 第二种情况，透视。

医生需进行采集/手术治疗时，操作医师位于铅吊屏后身着铅服、铅颈套、戴铅帽、铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的信息采集及手术操作。

(2) 本项目 DSA 服务范围

根据院方提供资料，建设单位拟调配 7 名专业人员进行介入治疗，其中 1 名外科医生、1 名内科医生、1 名临床医学医生、1 名医学影像和放射治疗专业医生、1 名影像技师以及 2 名护士，主要用于手术期间提供患者的拍片和透视图像。

4、DSA 正常工况污染途径

DSA 的 X 射线诊断机曝光时，出束方向朝下，项目污染因子为 DSA 工作时产生的 X 射线。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，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

(1) 本项目 DSA 开机时发出 X 射线，X 射线贯穿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；

(2) 在介入手术过程中，对机房内操作的操作人员造成较高剂量的外照射。

DSA 诊治流程及产污环节如图 9-5 所示。

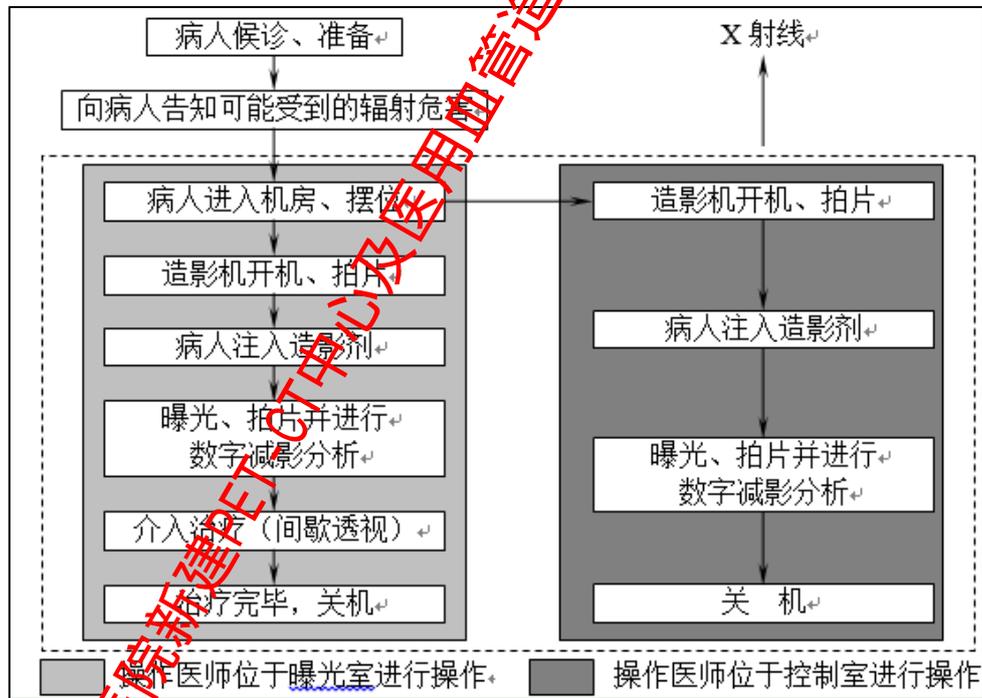


图 9-5 DSA 治疗流程及产污环节示意图

污染源项描述

一、PET-CT 诊断场所

本项目使用放射性核素  $^{18}\text{F}$ ，其半衰期为 109.7min。放射性核素  $^{18}\text{F}$  年最大使用

量为  $1.48 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，病人单次用药量最大为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年接诊病人约 4000 人（20 人/d）。

PET-CT 设备配有 3 枚锗-68 ( $^{68}\text{Ge}$ ) 密封校验源，其中 2 枚是线源，每根线源活度都是  $4.625 \times 10^7 \text{Bq}$  ( $1.25 \text{mCi}$ )，还有 1 枚是棒源，活度为  $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$  ( $2.5 \text{mCi}$ )，以上 3 枚源均属于 V 类放射源。 $^{68}\text{Ge}$  半衰期为 270.8d。

### 1、污染因子

本项目 PET-CT 诊断时使用的放射性核素主要是  $^{18}\text{F}$ 。 $^{18}\text{F}$  放射性药物衰变过程中产生的  $\gamma$  射线， $^{18}\text{F}$  放射性药物使用过程中产生的  $\beta$  表面污染，CT 扫描时产生的 X 射线， $^{68}\text{Ge}$  储存和使用过程中产生的  $\gamma$  射线，该项目使用过程中还伴随一定量的放射性废物（废气、废水、固体废物）及退役放射源。

### 2、污染源项核算

#### (1) $\gamma$ 射线

在放射源注射过程中使用  $^{18}\text{F}$  在衰变过程中会产生  $\gamma$  射线，穿过屏蔽物，对周围环境产生的外照射；校准源  $^{68}\text{Ge}$  储存和使用过程中产生的  $\gamma$  射线，穿过屏蔽物对周围环境产生的外照射。

#### (2) X 射线

PET-CT 开机扫描时发出 X 射线，X 射线贯穿机房的屏蔽墙进入外环境，对操作人员及机房周围公众人员产生外照射影响。

#### (3) 放射性废水

PET-CT 中心产生的液态放射性废物主要为容器洗涤水、工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及受检者的新陈代谢-汗液、痰液、尿液、粪便等。

根据医院 PET-CT 显像检查情况预计，最大工作量 20 人（次）/天，4000 人（次）/年，保守按每检查或治疗 1 人（次）产生废水平均量 50L 估算（含工作人员清洁用水、患者排泄等），PET-CT 中心患者产生的排泄及冲洗水量约为  $1.0 \text{m}^3/\text{d}$  ( $200 \text{m}^3/\text{a}$ )；含  $^{18}\text{F}$  放射性核素的容器洗涤水约  $0.08 \text{m}^3/\text{d}$  ( $16 \text{m}^3/\text{a}$ )，工作人员洗手及事故工况下淋浴用水约  $0.5 \text{m}^3/\text{d}$  ( $100 \text{m}^3/\text{a}$ )。含  $^{18}\text{F}$  废水 ( $1.58 \text{m}^3/\text{d}$ ) 通过专用卫生间进入衰变罐，放射性衰变罐为放射性废水衰变系统，容积为  $3 \times 2 \text{m}^3$ ，建在 PET-CT 诊断场所北侧中部。

单个衰变池核素最大排入量按诊疗流程考虑，其中使用  $^{18}\text{F}$  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% 排入衰变罐考虑，经 10 个半衰期(18.3h)衰变后排放浓度最大  $9.15 \times 10^2 \text{Bq/L}$ ，小于豁免活度浓度  $1 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，最终经医院总排放口排放其  $\beta$  活度小于  $10 \text{Bq/L}$ 。

#### (4) 固体废物

##### ① 放射性固体废物

PET-CT 中心放射性固体废物主要为接触  $^{18}\text{F}$  的药瓶、塑料管、口杯、注射器、棉签、注射台上的海绵、口罩、乳胶手套、医护人员工作服等被放射性物质污染的固体废物。每日产生约 1kg，全年产生约 200kg，有专用放射性废物桶收集；按核素使用量的 1% 排入衰变罐考虑，自然衰变 13 个半衰期(约 24h)后，排放浓度最大为  $9.03 \text{Bq/g}$ ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中  $^{18}\text{F}$  的豁免活度，按普通医疗废物处理。

##### ② 退役放射源

校准源为 V 类放射源，退役后由厂家回收或送城市放射性废物库处置。

##### ③ 生活垃圾

工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾。本项目 PET-CT 中心不新增劳动定员，由医院内部进行调配，不新增生活垃圾排放量。

#### (5) 放射性表面沾污

对受检者进行注射  $^{18}\text{F}$  核素时为开放性操作，容易使放射性药品洒落造成操作台面或地面的污染。

#### (6) 废气

放射性核素  $^{18}\text{F}$  在注射过程中挥发产生极少量的放射性废气，通过通风系统外排。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，由通风装置外排。

## 二、医用血管造影 X 射线系统 (DSA)

DSA 工作过程中不产生废水，DSA 运行中主要产生 X 射线、废气和少量固体废物。

### 1、放射性污染

本项目 DSA 为 II 类射线装置，医用血管造影 X 射线系统 (DSA)，在开机状态下主要污染物为 X 射线，关机即消失。DSA 开机时发出 X 射线，X 射线贯穿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

DSA 在曝光过程中会使机房内的空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，经机械通排风系统外排。

### 3、固体废物

本项目 DSA 根据病人需要打印出的胶片由病人自行带走；介入手术时会产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，月排放量约为 0.5t，年排放量约为 6t；经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存，统一委托有资质单位处置。

工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾。本项目 DSA 机房不新增劳动定员，由医院内部进行调配，不新增生活垃圾排放量。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所及区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 应将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。本次环评中根据国际放射防护委员会第 103 号出版物对控制区和监督区的定义:

控制区: 在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散, 以及在一定程度上预防或限制潜在照射, 要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。

监督区: 未被确定为控制区、通常不需采取专门防护手段和安全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 及 DSA 机房 2 个场所, 是独立而完整的工作区域, 各自区域按控制区、监督区合理布局, 人流与物流、工作人员与患者都有各自的走向, 避免交叉污染。本项目各场所分区见下表 10-1, 辐射防护分区、人员流向示意图见图 10-1~10-3。

表 10-1 工作场所分区表

序号	场所名称	控制区	监督区
1	PET-CT 场所	PET-CT 机房、检查后留观室、药后候诊室、抢救室、注射室、标记/质控室等	地下二层: 控制室、医生办公室、候诊区、问询室、残留清洗室、储存间等
2	DSA 机房	DSA 机房	影像科(一楼): 更衣室、洗手准备室、污物间、设备间、控制室、信息科机房、病人缓冲间、影像科过道 外科(二楼): 住院部病房

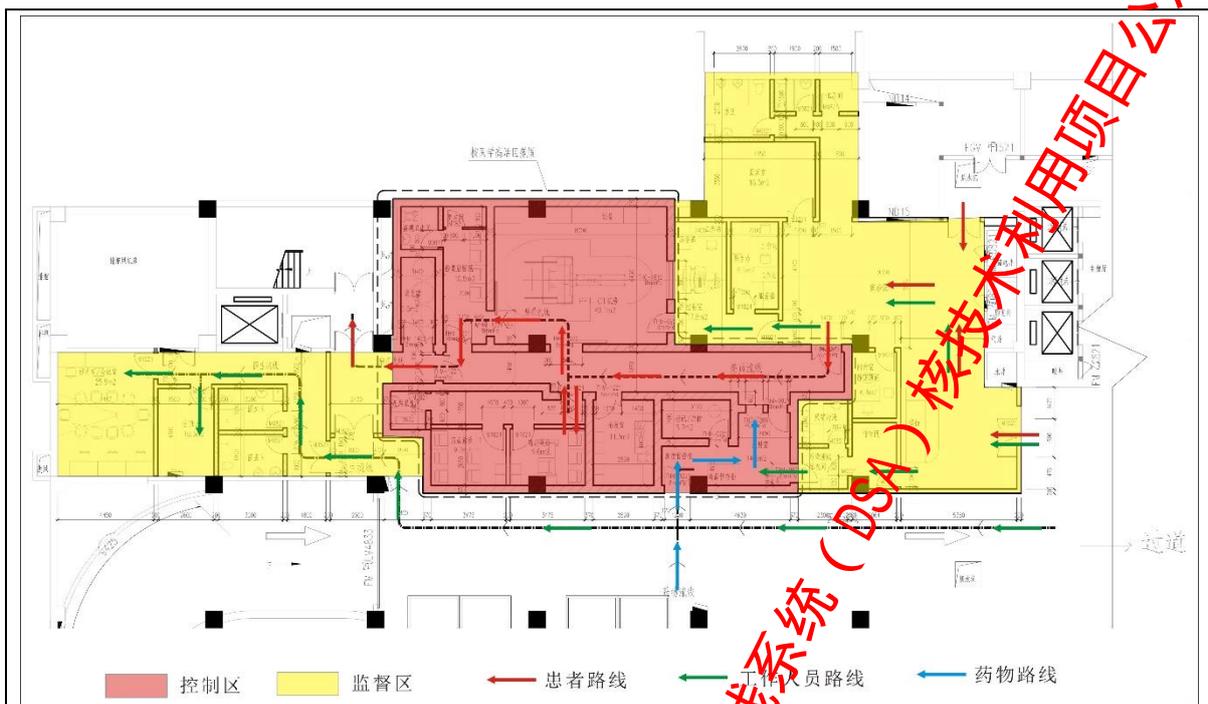


图 10-1 PET-CT 场所各区分布图—平面图

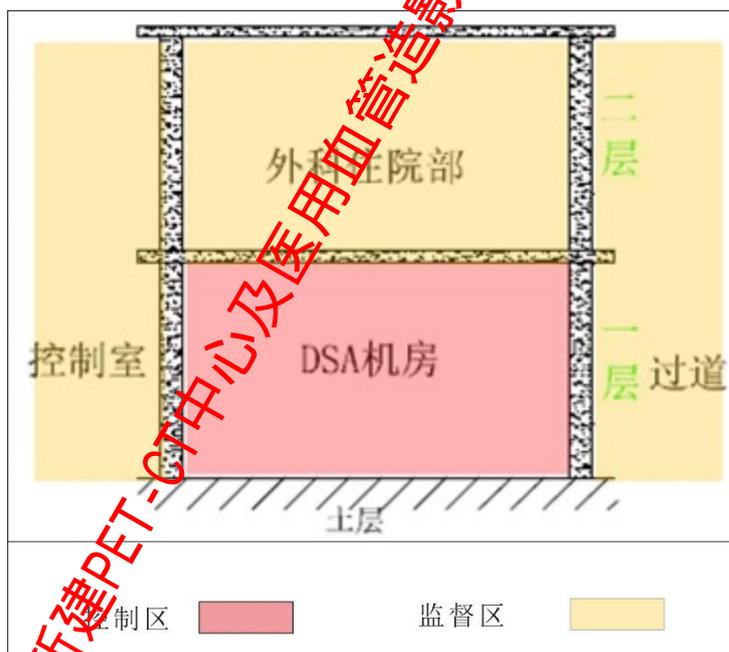


图 10-2 DSA 工作场所各区分布图—剖面图

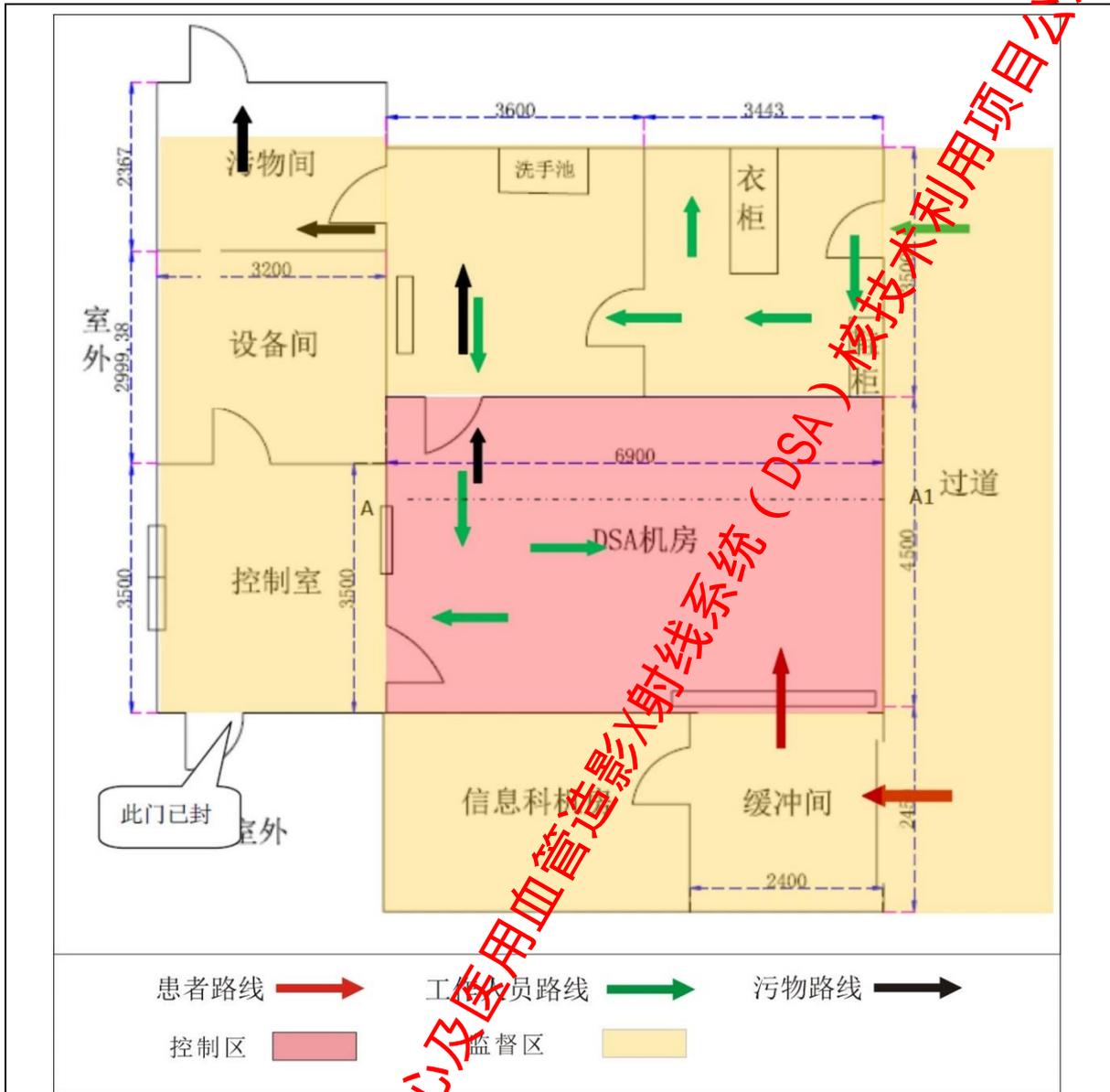


图 10-3 DSA 工作场所各区分布图—平面图

## 二、辐射安全防护措施

### 1、PET-CT 中心

#### (1) 工作场所辐射防护屏蔽设计

本项目 PET-CT 诊断场所内控制区内（卫生间、更衣间隔墙除外）所有墙体均为 370mm 实心砖墙，患者走道加涂 30mm 厚硫酸钡涂料。

具体屏蔽设计见表 10-2。

表 10-2 PET-CT 工作场所屏蔽设计一览表

场所位置	注射室、标记/质控室、抢救室、药后候诊室、PET-CT 机房、留观室、衰变室	控制室	残留清洗室、污染测试铅本间
东墙	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料	100~200mm 厚轻钢龙骨石膏板隔墙（内部 60~120mm 厚岩棉）	200mm 厚、100mm 厚加气粉煤灰砖墙
南墙	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料	200mm 厚、100mm 厚加气粉煤灰砖墙
西墙	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料
北墙	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料	100~200mm 厚轻钢龙骨石膏板隔墙（内部 60~120mm 厚岩棉）	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料
屋顶	250mm 钢筋混凝土屋顶	120mm 钢筋混凝土屋顶	120mm 钢筋混凝土屋顶
地面	700mm 钢筋混凝土地面	120mm 钢筋混凝土屋顶	120mm 钢筋混凝土屋顶
防护门	不锈钢铅防护内置电动推拉门（8mm 铅当量）	不锈钢铅防护手动平开门（8mm 铅当量）	/
观察窗	铅玻璃（8mm 铅当量）	铅玻璃（8mm 铅当量）	/

(2) 医生、病员、药物流动线路

① 医护人员：医护人员从医生通道进出注射室；从医生办公室进出 PET-CT 控制室。

② 病员：病员在问询室登记后，在候诊区候诊，依次从缓冲区通道门进入注射区，注射药物后进入药后候诊室候诊；依次从病员通道进入 PET-CT 机房，检查完后根据情况在留观室留院观察；留观 30min 左右后从病人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送至医院，从病人出口楼梯下楼，经楼梯通道门及病员通道进入注射室；储存在注射室的药品暂存柜内；放射性药物经注射台为病员注射。

(3) 辐射安全与防护措施

① PET-CT 中心病人入口处拟设置工作状态指示灯。

② 医生、病人出入口通道门，注射室、药后候诊室、PET-CT 机房、留观室的防护门以及铅废物桶、药品暂存柜、废物暂存柜表面拟设置电离辐射警告标志（见图 10-5）。



图 10-4 电离辐射标志和电离辐射警告标志

③ 在质控室、注射室等场所设置工作人员专用洗手台盆；设置患者专用卫生间和工作人员专用卫生间。

④ 工作场所内均设有通风系统；排风形式采用负压抽风，通风速率应不小于 1m/s，风量为 2000m<sup>3</sup>/h。

⑤ PET-CT 机房、控制室拟设置观察窗；药后候诊室、PET-CT 机房、留观室拟安装高清探头及通话系统。

⑥ 注射室、药后候诊室、留观室地面和墙面拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应宜采取弧形设计，以尽可能减少表面污染。

⑦ 注射室、药后候诊室、留观室内拟配置铅废物桶，产生的沾有微量放射性核素 <sup>18</sup>F 的放射性固体废物，经铅废物桶收集，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，在废物暂存柜中暂存；达到清洁解控水平推荐值后方可作为普通医疗废物处理。

⑧ 医院拟为 PET-CT 中心配备铅衣、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，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品；工作人员离开放射工作场所，需清洗、淋浴、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开，进入非放射工作场所。

⑨ 受检者根据预约按时来院，在给药处接受注射药物，到指定地点候诊，检查，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，防止含有微量放射性核素的空气被吸入体内造成的内照射。

## 2、DSA 工作场所安全防护措施

### (1) 工作场所辐射防护屏蔽设计

据现场调查，本项目 DSA 工作场所已建成，设备已购置，暂未启用。依据《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) 要求，DSA 机房辐射屏蔽措施符合性分析表见表 10-3。

表 10-3 DSA 机房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
	建设内容	铅当量	GBZ 130-2013 标准要求	铅当量	
防护墙	240mm 实心砖墙，加涂 50mm 厚高纯度射线专用防护涂料，总体防护厚度达 5mmPb	5mmPb	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  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	2mmPb	满足
天花板	120mm 实心砖墙，加涂 50mm 厚高纯度射线专用防护涂料，总体防护厚度达 4.5mmPb	4.5mmPb		2mmPb	满足
地板	地下为土层，未做防护处理	--		--	满足：本项目 DSA 机房下方为土层，无建筑物
病人出入防护门	3mmPb 不锈钢铅防护内置电动推拉门（1.8m×0.2m）	3mmPb		2mmPb	满足
控制室医务人员出入门	3mmPb 不锈钢铅防护手动平开门（0.86m×2.1m）	3mmPb	2mmPb	满足	
医护出入门	3mmPb 不锈钢铅防护手动平开门（0.8m×2.1m）	3mmPb	2mmPb	满足	
观察窗	3mmPb 铅玻璃（1.2m×0.8m）	3mmPb	2mmPb	满足	
工作指示灯	患者出入防护门上部设置门灯联动装置	/	工作指示灯与门有效联动	/	满足

### (2) 医护、病员、污物流动线路

① 医护人员：医护人员从更衣室经洗手准备室进出 DSA 机房和控制室。

② 病员：病员由缓冲间进入 DSA 机房接受检查；病人检查后经缓冲间由影像科

过道离开。

③ 污物：介入治疗产生的医疗废物由 DSA 机房经洗手准备室在污物间暂存，定期由污物间北侧出口转移至医院医疗废物暂存间。

(3) 辐射安全与防护措施

据现场调查，本项目 DSA 工作场所已建成，设备已购置，暂未启用。DSA 工作场所已采取的辐射安全与防护措施见表 10-4。

表 10-4 DSA 机房辐射安全与防护措施符合性分析表

项目	建设情况		辐射防护要求		是否满足要求
	建设内容	铅当量	GBZ 130-2013 标准要求	铅当量	
机房有效使用面积	31.05m <sup>2</sup>	/	30m <sup>2</sup>	/	满足
机房涉及最小单边长度	4.5m	/	4.5m	/	满足
监控	机房和控制室之间设有观察窗，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，装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	机房内布局合理，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置；设备投运后未堆放与该设备诊断工作无关的杂物；机房设置动力排风装置，保持良好的通风	/	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杂物；机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风	/	满足
防护要求	DSA 机房门外设有电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯、灯箱处设有警示语句；机房病人出入口设 3mmPb 不锈钢铅防护装置电动推拉门，医护人员出入口设 3mmPb 不锈钢铅防护手动平开门；已设置门灯联动装置	/	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
辅助防护设施 (工作人员)	铅悬挂防护屏 1 件	0.5mmPb	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏、移动铅防护屏风（选配）	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	铅防护帘 1 件	0.5mmPb			满足
	床侧防护帘	0.5mmPb			满足

续表 10-4 DSA 机房辐射安全与防护措施符合性分析表

项目	建设情况		辐射防护要求		是否满足要求
	建设内容	铅当量	GBZ 130-2013 标准要求	铅当量	
个人防护用品（工作人员）	防护铅衣 5 件	前面 0.5mmPb, 后面 0.25mmPb	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅橡胶手套（选配）	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb	满足
	大领铅橡胶颈套 4 件	0.5mmPb			满足
	铅防护眼镜 2 副	0.25mmPb			满足
个人防护用品（患者及受检者）	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾 1 件	0.5mmPb	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	防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备由防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	满足
	铅橡胶颈套 1 件	0.35mmPb			满足
	铅橡胶帽子	无			暂未配备，不满足

根据 DSA 工作场所辐射防护设施建设情况及个人防护用品配备情况，本次评价要求 DSA 工作场所应进一步完善辐射防护措施：

- (1) DSA 机房暂未为患者配备铅橡胶帽子；应在项目投入运行前配备。
- (2) 该医院涉及儿童检查和手术较多，建议至少配备 2 套儿童专用防护用品（铅当量不小于 0.5mmPb）。
- (3) 医院应配备 1 台便携式辐射剂量监测仪，定期巡检并建立监测数据档案；
- (4) 成立以医院院长为第一责任人的辐射防护领导小组，制定各项规章制度及辐射事故应急预案。

### 三、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，详见表 10-5 和表 10-6，评价要求，建设单位应按照文件要求进行标准化建设。

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	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
		年初工作安排的和年终工作总结时，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
	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
	直接从事放射工作的作业人员	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
		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
机构建设	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	
	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		
制度建立与执行	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	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	
		给药不在专门场所时采取适当的防护措施	
		装有放射性药物的给药注射器应有适当屏蔽	
	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 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			
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		
医用X射线诊断	布局	每台X射线机（不含移动式 and 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	
		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	
	通风	机房设置动力排风装置，并保持良好的通风	
	标志及指示灯	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	
	防护性能	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	
辐射安全与门锁	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		
监测设备及个人防护用品	X-γ剂量率监测仪、表面沾污监测仪、个人剂量计、个人剂量报警仪、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 中心

#### 1、放射性废水处置措施

PET-CT 中心产生的液态放射性废物主要为容器洗涤水 ( $0.08\text{m}^3/\text{d}$ ) 工作人员操作过程手部受到微量污染及事故工况下淋浴用水 ( $0.5\text{m}^3/\text{d}$ ) 可能会有带有微量放射性的废水以及受检者的新陈代谢-汗液、痰液、尿液、粪便等 ( $1.0\text{m}^3/\text{d}$ )。

上述放射性废水的处理主要是通过配套建设的三个衰变罐 ( $3\times 2\text{m}^3$ ) 来进行存储, 放射性废水在衰变罐内停留时间 10 个半衰期 (放射性核素  $^{18}\text{F}$  半衰期较短 ( $109.77\text{min}$ ), 10 个半衰期为  $18.3\text{h}$ ) 后排入医院污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 的预处理标准 (即  $\beta$  放射性  $< 10\text{Bq/L}$ ) 后排入市政污水管网。

三个衰变罐 ( $3\times 2\text{m}^3$ ) 采用全自动管理: 1#衰变罐放射性废水存满后, 自动转存 2#衰变罐; 2#衰变罐放射性废水存满后, 自动转存 3#衰变罐。每个衰变罐均设有独立的检测仪, 小于豁免活度浓度 ( $1\times 10^5\text{Bq/L}$ ) 后污水泵自动排入医院污水管网, 放空该衰变罐, 以备后续使用。

可见, 放射性废水衰变系统设计满足本项目放射性废水暂存衰变要求。

#### 2、放射性固体废物处置措施

PET-CT 中心放射性固体废物主要为接触  $^{18}\text{F}$  的药瓶、塑料管、口杯、注射器、棉签、注射台上的海绵、口罩、乳胶手套、医护人员工作服等被放射性物质污染的固体废物。注射室、药后候诊室、留观室内拟配置铅废物桶, 产生的沾有微量放射性核素  $^{18}\text{F}$  的放射性固体废物, 经铅废物桶收集, 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, 在废物暂存柜中暂存; 评价要求其在废物暂存柜中暂存 13 个半衰期 (约  $24\text{h}$ ) 以上、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理。

注射室、药后候诊室、留观室地面和墙面拟采用易于去污的材料或涂料, 并平整光滑; 地面与墙面交接应宜采取弧形设计, 以尽可能减少表面污染。

#### 3、废气治理措施

注射室拟配置药品暂存柜, 医院购买已分装好的放射性药物, 不进行药品分装; 注射室内设的排风系统, 挥发的放射性核素  $^{18}\text{F}$  经专用通风管道由风机抽吸至楼顶排放。

PET-CT 在开机并处于出束状态时，会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、DSA 机房

### 1、废水

DSA 不使用显影液和定影液进行洗片操作，所需胶片由专用打印机打印，无洗片废水、废定（显）影液产生。

### 2、废气

DSA 在开机并处于出束状态时，会使机房内空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物；本项目 DSA 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。

### 3、固体废物

本项目射线装置为 Allura Centron 型医用血管造影 X 射线系统（DSA），不涉及显影、定影、冲洗、烘干等 X 射线胶片冲洗作业，不产生废弃 X 光片。设备维修更换的废旧 X 射线管、由设备厂家回收。

本项目在使用过程中会产生纱布、针管、损伤废物、输液器等医疗废物，医疗废物收集后暂存于专用医疗废物桶，医院定期委托有医疗废物处理资质的西安位达实业发展有限公司（西安市医疗废物集中处置中心）处置。

## 三、其他

本项目不新增劳动定员，不新增生活污水、办公垃圾排放。

表 11 环境影响分析

### 建设阶段对环境的影响

本项目射线装置工作场所已建成，施工期环境影响已结束；PET-CT 中心位于地下二层，建设时将产生施工噪声、粉尘、废水和少量建筑垃圾污染，其主要影响对象为单位员工和周围公众，施工时对环境会产生如下影响。

#### 1、施工废气

本项目在建设施工期将产生粉尘，但本项目 PET-CT 中心位于地下二层，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。

#### 2、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；施工人员产生的生活污水依托医院现有污水处理设施处理达标后排入市政污水管网，对周围水环境影响很小。

#### 3、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。

#### 4、固体废物

建筑垃圾主要是一些废弃钢结构材料、砖块及混凝土结块等，分类收集后堆放于指定地点，其中可再利用部分回收出售给废品站，不可再利用的部分清运到建筑垃圾填埋场，严禁随意丢弃。施工期生活垃圾经集中收集后，由环卫部门统一处理。通过上述措施后，项目施工期产生固废均得到合理妥善处置，处置率 100%，对环境影响较小。

建设单位在施工阶段计划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。

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。

射线装置安装调试会产生 X 射线，但时间很短，辐射影响很小。安装调试由厂商进行，建设单位不得执行拆卸、安装设备。安装调试期间，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，在机房周围设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近，在人员离开机房并保证周围的视频监控正常运行情况下进行调试。安装调试结束后，项目建设阶段影响将随之消除。

## 运行阶段对环境的影响

### 一、PET-CT 中心

#### 1、辐射环境影响分析

根据工程分析可知，本项目 PET-CT 中心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  $\gamma$  射线以及 PET-CT 开机出束产生的 X 射线，对医务人员和公众产生外照射。

##### (1) 放射性药物使用过程中辐射环境影响分析

本项目使用的  $^{18}\text{F}$  药物由药物供应商负责直接运输至注射室， $^{18}\text{F}$  已经按每支针剂 370MBq (10mCi) 分装好，注射室医护人员可直接取药进行注射，无需分装。护士在注射室的注射台为病人注射放射性药物，注射完病人在药后候诊室等待 40~60min，然后再到 PET-CT 机房进行扫描检查，检查完后病人需留观 30min 左右后离开。

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：

$$\dot{K}_0 = \Gamma A \eta / r^2 \quad (11-1)$$

式中： $\dot{K}_0$ ——空气比释动能率，mGy/h；

$\Gamma$ ——比释动能率常数，注射前为  $0.143\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{GBq}$ ，注射后为  $0.092\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{GBq}$  (资料来源：AAPM Task Group 108:PET and PET/CT Shielding Requirements)；

A——核素 (点源) 活度，GBq；

$\eta$ ——透射比，无屏蔽情况下取 1；有屏蔽情况下， $\eta = 2^{-(h/\text{TVT})}$  (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。

根据公式 11-1，可计算出无屏蔽状态下不同距离  $^{18}\text{F}$  药物的空气比释动能率。

表 11-1 无屏蔽状态下不同距离的  $^{18}\text{F}$  药物的空气比释动能率

距离 (m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
空气比释动能率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	587.89	211.64	52.91	13.23	5.88

注：每位患者最大用药活度为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

表 11-2 注射后距受检者不同距离的  $^{18}\text{F}$  药物的空气比释动能率

距离 (m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
空气比释动能率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	378.22	136.16	34.04	8.51	3.78

注：每位患者最大用药活度为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

从表 11-1 可见，无屏蔽状态下和受检者注射后的  $^{18}\text{F}$  药物均具有一定的辐射水平，医院应做好区域防护工作，同时辐射工作人员还应做好个人防护。

本项目  $^{18}\text{F}$  药物在操作过程中对周围辐射水平（控制区）的估算结果见表 11-3，本项目 PET-CT 工作场所北侧及地下为土层，预测点位分布见图 11-1。

表 11-3 PET-CT 项目工作场所（控制区）预测点位辐射水平估算结果

参考点位置		辐射源强 (Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽措施	透射比	参考点辐射水平 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	备注
标记/质控室	1	$3.70\text{E}+08$	2.5	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	0.14	/
注射室	注射窗口注射位	$3.70\text{E}+08$	0.5	0.5mmPb	0.941	199.16	/
	东墙外表面 30cm 处	$3.70\text{E}+08$	2.39	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	0.13	/
	东侧防护门外 30cm 处	$3.70\text{E}+08$	3.41	8mmPb	0.378	1.72	/
	南墙外表面 30cm 处	$3.70\text{E}+08$	1.57	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	0.31	/
	南侧防护门外 30cm 处	$3.70\text{E}+08$	1.57	8mmPb	0.378	8.11	/
药后候诊室	北侧防护门外 30cm 处	$3.70\text{E}+09$	2.67	8mmPb	0.378	28.06	药后候诊室共设 10 张病椅，按最大工况 10 位患者同时注射候诊计
	药后候诊室 1 东墙外表面 30cm 处	$3.70\text{E}+09$	0.97	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	8.02	
	药后候诊室 1 南墙外表面 30cm 处	$3.70\text{E}+09$	0.97	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	8.02	
	药后候诊室 1 西墙外表面 30cm 处	$3.70\text{E}+09$	0.97	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	8.02	

续表 11-3 PET-CT 项目工作场所（控制区）预测点位置辐射水平估算结果

参考点位置		辐射源强 (Bq)	与源的 距离 (m)	屏蔽措施	透射 比	参考点 辐射水 平 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	备注	
标记/质控室		1	3.70E+08	2.3	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	0.14	/
PET-CT 机房	患者摆位处	11	3.70E+08	0.5	0.5mmPb	0.909	192.40	/
	东墙外表面 30cm 处	12	3.70E+08	4.67	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	0.03	/
	操作室操作位	13	3.70E+08	4.67	8mmPb	0.378	0.92	/
	东侧防护门外 30cm 处	14	3.70E+08	4.67	8mmPb	0.378	0.92	/
	西侧防护门外 30cm 处	15	3.70E+08	0.5	8mmPb	0.378	80.00	/
	南侧防护门外 30cm 处	16	3.70E+08	0.5	8mmPb	0.378	80.00	/
	南墙外表面 30cm 处	17	3.70E+08	7.1	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	0.01	/
留观室	南侧防护门外 30cm 处	18	1.48E+09	0.5	8mmPb	0.378	320.01	留观室共设 4 张病椅，按 最大工况 4 位患者同时 留观计
患者 出入 口及 通道	患者入口防护 门外 30cm 处	19	3.70E+08	0.5	8mmPb	0.378	0.69	/
	患者通道北墙 外表面 30cm 处	20	3.70E+08	3.13	370mm 实心砖墙 +30mm 硫酸钡涂料	0.014	0.08	/
	患者出口防护 门外 30cm 处	21	3.70E+08	0.5	8mmPb	0.378	80.00	/
楼上	地下一层办公 室	/	3.70E+08	5.80	250mm 钢筋混凝土	0.067	0.10	位于候诊区 楼上
	地下一层档案 室及医疗废物 暂存间	/	1.48E+09	2.55	250mm 钢筋混凝土	0.067	2.17	位于留观室 楼上
	地下一层车库 通道	/	3.70E+09	2.55	250mm 钢筋混凝土	0.067	5.43	位于药后候 诊室楼上

注：① 参考《放射防护实用手册》：对于  $^{18}\text{F}$ ，铅半值层为 5.7mm，混凝土半值层为 64mm；PET-CT 工作场所北侧和地下是土质，不进行计算。② 每位患者最大用药活度为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，患者注射完药物后在候诊室等待时间一般为 40min，再去 PET-CT 机房扫描。③  $^{18}\text{F}$  诊断项目预计最大门诊量为 20 人/天；当就诊人数较多时采用分批预约方式，以避免用药患者过分集中造成辐射场所辐射水平偏高。④ 药后候诊室共设 10 张病椅，留观室设 4 张病椅，按最大工况 10 位患者同时注射候诊及 4 位患者扫描后留观来估算其对外环境的影响。

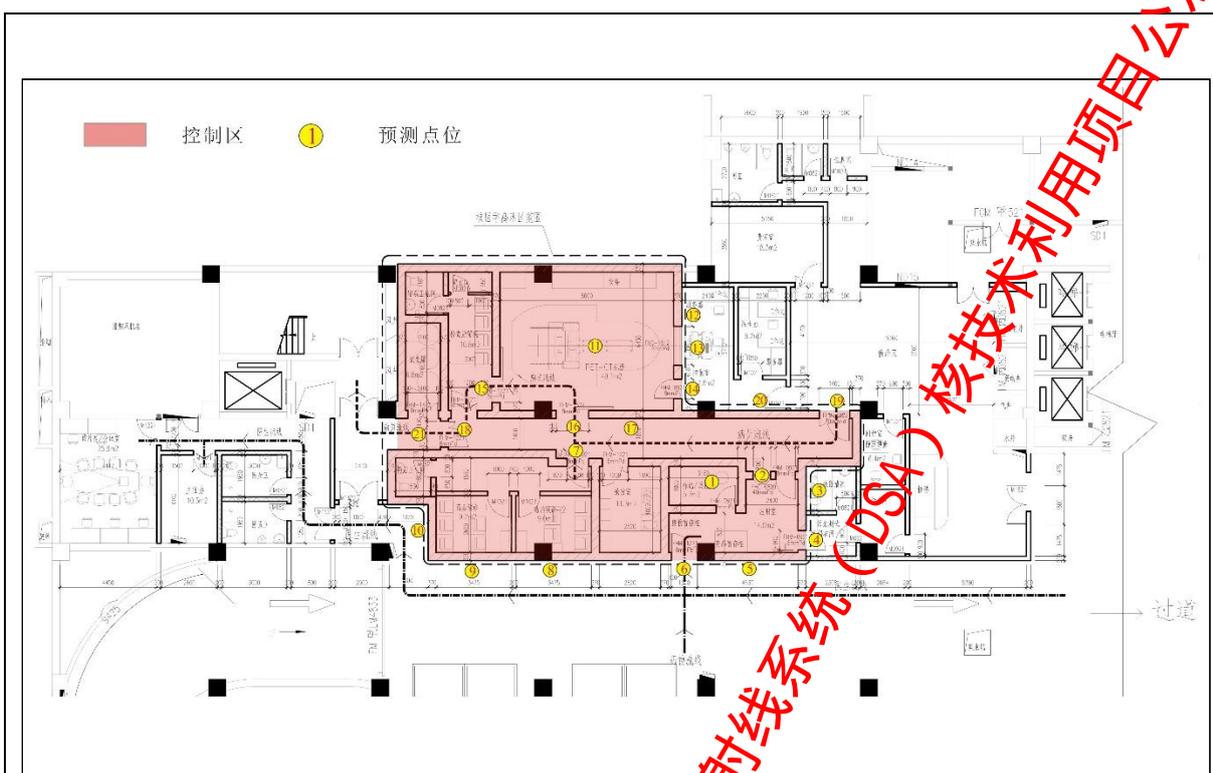


图 11-1 PET-CT 工作场所预测点位分布图

由表 11-3 估算结果可见， $^{18}\text{F}$  药物在操作过程中对周围环境辐射影响较大，虽然操作工作人员穿戴防护服，但仍会受到一定剂量的照射；此外，注射完药物的患者对扫描前指导其摆位的医务人员有较强的外照射影响；患者注射完药物候诊期间，由于患者相对集中，候诊室防护门和四周墙壁外有一定的附加剂量，因此医院应尽量避免用药患者集中注射、等待扫描，以降低对药后候诊室南侧墙外的辐射影响。

项目对辐射环境影响较大的环节主要是给患者注射  $^{18}\text{F}$  药物时的外照射影响和患者用药后体内的药物对环境的辐射影响，尤其是患者注射药物后具有可移动性，因此，必须加强对病人的管理，同时还应加强对用药后患者的管理和患者家属、陪护人员的防护指导，尽可能减少不必要的照射。

(2) 校准源辐射环境影响分析

PET-CT 校准使用的  $^{68}\text{Ge}$  放射源活度为  $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$  和  $4.625 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。根据《放射源分类办法》中：“（五）V 类放射源为极低危险源；不会对人造成永久性损伤”。可见，其辐射对环境的影响较小。评价要求当其活度达不到校准要求时，由厂家更换或回收或送至城市放射源废物库处置。

2、辐射工作人员和公众个人剂量估算

外照射所造成的预测点处人员的年累积剂量可由公式 11-2（资料来源：《辐射防护

核技术利用项目公示使用  
仅供西安中医学肿瘤医院 PET-CT 中心及医用同位素 X 射线系统 (DSA)

导论》，方杰等著）计算。

$$D_{Eff} = K_a \times t \times T \times U \quad (11-2)$$

式中： $D_{Eff}$ ——预测点人员附加有效剂量，Sv；

$K_a$ ——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) 职业人员剂量估算

本项目使用的  $^{18}\text{F}$  药物由药物供应商负责直接运输至注射室， $^{18}\text{F}$  药物置于药商提供的防护罐中，均暂存于带铅屏蔽的药品暂存柜中，当天用完； $^{18}\text{F}$  已经按每支针剂 370MBq (10mCi) 分装好，注射室医护人员可直接取药进行注射，无需分装。本项目主要涉及注射过程、摆位过程和扫描过程放射性药物对职业人员的影响。职业人员附加年有效剂量估算见表 11-4。

(1) 职业人员剂量估算

本项目使用的  $^{18}\text{F}$  药物由药物供应商负责直接运输至注射室， $^{18}\text{F}$  药物置于药商提供的防护罐中，均暂存于带铅屏蔽的药品暂存柜中，当天用完； $^{18}\text{F}$  已经按每支针剂 370MBq (10mCi) 分装好，注射室医护人员可直接取药进行注射，无需分装。本项目主要涉及注射过程、摆位过程和扫描过程放射性药物对职业人员的影响。职业人员附加年有效剂量估算见表 11-4。

表 11-4 职业人员附加年有效剂量估算结果

点位	人员	类别	剂量率值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年有效工 作时间 (h)	居留 因子	附加年有效剂 量 (mSv/a)	备注
2	注射人 员	职业 人员	199.16	17	1	3.32	设每位患者注射需 0.5min，由 2 名工作人员轮流负责注射工作
11	摆位人 员	职业 人员	192.40	17	1	3.21	设每位患者摆位需 0.5min，由 2 名工作人员轮流负责摆位和扫描工作
13	控制室 操作人 员	职业 人员	0.92	667	1	0.61	设每位患者扫描需 20min，由 2 名工作人员轮流负责摆位和扫描工作

注：本项目  $^{18}\text{F}$  年最大用量为  $1.48 \times 10^{12}\text{Bq}$  (年使用天数以 200d 计)；每位患者最大用药活度为  $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ ，即每年门诊最大量为 4000 人/次。

本项目由 2 名工作人员轮流负责注射工作，则注射室每位工作人员年有效工作时间为 17h，年有效剂量为 3.32mSv/a；由 2 名工作人员轮流负责摆位和扫描工作，则其接受年有效剂量为 3.82mSv/a。本项目辐射工作人员附加年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的相关规定(工作人员年有效剂量限值不大于 20mSv) 和本次评价提出的年管理剂量约束值及控制水平(工作人员年有效剂量限值不大于 5mSv)。

核素诊断和治疗过程中受其它多种不确定因素的影响，工作人员受到照射情况复杂多变，难以准确估算其年有效剂量。上述估算结果只能基本反映出工作人员受照射程度，工作人员实际年有效剂量应以个人剂量检测结果为准。

### (2) 公众剂量估算

本项目 PET-CT 工作场所北侧和地下为土层，楼上为档案室、办公室、医疗废物暂存间及地下车库通道，东侧为电梯间，北侧和南侧为停车区域、西侧为楼梯间。

根据 PET-CT 工作场所平面布置情况，除地下一层的办公室会有医护人员长期值班，其余区域均为其他医护人员、患者、陪同家属临时路过。则公众附件年有效剂量估算见表 11-5。

表 11-5 公众附加年有效剂量估算结果

位置	人员	类别	剂量率值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	对其产生辐射影响工作时间 (h)	居留因子	附加年有效剂量 (mSv/a)	备注
地下一层 办公室	值班医护人员	公众	0.10	1600	1/2	0.084	以设备年工作时间 200d, 8h/d 计
地下一层 档案室及 医疗废物 暂存间	其他医护人员	公众	2.17	500	1/16	0.068	位于留观室楼上，留观时间以 4 人/组、30min/组； $^{18}\text{F}$ 诊断项目预计最大门诊量为 20 人/天，200d/年
地下一层 车库通道	其他医护人员、患者、陪同家属	公众	5.43	267	1/16	0.090	位于药后候诊室楼上，药后候诊时间以 10 人/组、40min/组； $^{18}\text{F}$ 诊断项目预计最大门诊量为 20 人/天，200d/年
地下二层 车库通道	其他医护人员、患者、陪同家属	公众	8.02	267	1/16	0.134	位于药后候诊室南墙外，药后候诊时间以 10 人/组、40min/组； $^{18}\text{F}$ 诊断项目预计最大门诊量为 20 人/天，200d/年

由表 11-5 可见，PET-CT 工作场所周围公众附加年有效剂量最大为 0.134mSv/a，

满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的相关规定(公众年有效剂量限值不大于 1mSv)和本次评价提出的年管理剂量约束值及控制水平(工作人员年有效剂量限值不大于 0.25mSv)。

PET-CT 工作场所候诊区病人的陪护人员主要为患者家属, 该类陪护人员为特殊公众, 不适合报告提出的评价剂量约束值。《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中附录 B1.2.2 规定:“B1.2.1 所规定的剂量限值不适用于患者的慰问者, 但是应对患者的慰问者所受的照射加以约束, 使他们在患者诊断或治疗期间所受的剂量不超过 5mSv”。根据目前该医院 PET-CT 工作场所的门诊量而言, 正常情况下, 患者陪护人员受到的照射不会超过上述的约束值(5mSv)。但医院应加强对患者陪护人员的管理, 应对用药患者的活动加以限制, 并对其陪护人员给予必要的辐射防护指导。

### 3、PET-CT 机房屏蔽措施评价

本项目配备的 PET-CT 设备中 CT 作为 II 类射线装置, 管电压为 140kV, 管电流为 420mA。

表 10-6 PET-CT 机房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
	建设内容	铅当量	GBZ 130-2013 标准要求	GBZ/T180-2006 标准要求	
四周墙体	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料	>6mmPb <sup>①</sup>	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 <sup>3</sup> )或 24cm 砖(密度 1.65t/m <sup>3</sup> )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 <sup>3</sup> )或 37cm 砖(密度 1.65t/m <sup>3</sup> )或 2.5mm 铅当量。	满足
屋顶	250mm 钢筋混凝土屋顶	>3mmPb <sup>①</sup>			满足
地面	700mm 钢筋混凝土地面	>4mmPb <sup>①</sup>			满足
防护门	不锈钢铅防护内置电动推拉门(8mm 铅当量)	8mm			满足
观察窗	铅玻璃(8mm 铅当量)	8mm			满足
机房有效面积	PET-CT 机房有效面积为 49.1m <sup>2</sup> , 最小单边长度为 6.43m				机房内最小有效面积为 30m <sup>2</sup> , 最小单边长度为 4.5m

注: ① 根据《辐射防护手册 第三分册 辐射安全》P62~63: 不同屏蔽材料的铅当量估算 PET-CT 机房屏蔽设计的铅当量厚度; ② PET-CT 机房北侧和地下为土层, 无建构物; 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 11-6 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》(GBZ130-2013)和《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ1180-2006) 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。

#### 4、废气环境影响分析

放射性核素  $^{18}\text{F}$  在注射过程中挥发产生极少量的放射性废气；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。

本项目 PET-CT 工作场所负压排风系统，风量为  $2000\text{m}^3/\text{h}$ ，通风柜室内排风经活性炭吸附过滤后通过专用管道在高于屋面 3m 处排放，满足《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006) 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。

#### 5、放射性废水影响分析

医院拟在 PET-CT 工作场所西北角设置 1 个衰变室，内设 3 个  $2\text{m}^3$  的衰变罐；衰变室四周均采取了一定的屏蔽防护措施（四周墙体均为 370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡涂料（2mm 铅当量），250mm 钢筋混凝土屋顶，700mm 钢筋混凝土地面）。

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罐有效容积为  $2\text{m}^3$ ，共设 3 个衰变罐。

根据医院 PET-CT 显像检查情况预计，最大工作量 20 人（次）/天，4000 人（次）/年，保守按每检查或治疗 1 人（次）产生废水平均量 50L 估算（含工作人员清洁用水、患者排泄等），则 PET-CT 中心患者产生的排泄及冲洗水量约为  $1.0\text{m}^3/\text{d}$  ( $200\text{m}^3/\text{a}$ )；含  $^{18}\text{F}$  放射性核素的容器洗涤水约  $0.08\text{m}^3/\text{d}$  ( $16\text{m}^3/\text{a}$ )，工作人员洗手及事故工况下淋浴用水约  $0.5\text{m}^3/\text{d}$  ( $100\text{m}^3/\text{a}$ )，本项目 PET-CT 中心产生含  $^{18}\text{F}$  废水共  $1.58\text{m}^3/\text{d}$ 。每个衰变罐可至少容纳 1.27d 的废水量；三个衰变罐（ $3\times 2\text{m}^3$ ）采用全自动管理：1#衰变罐放射性废水存满后，自动转存 2#衰变罐；2#衰变罐放射性废水存满后，自动转存 3#衰变罐。每个衰变罐均设有独立的检测仪，小于豁免活度浓度（ $1\times 10^5\text{Bq}/\text{L}$ ）后由污水泵自动排入医院污水管网，放空该衰变罐，以备后续使用。可见，放射性废水衰变系统设计满足本项目放射性废水暂存衰变要求。

本项目 PET-CT 中心放射性废水暂存 10 个半衰期后排入医院医疗废水处理站，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 $\beta$ 放射性 $<10\text{Bq/L}$ )后排入市政污水管网。。

## 6、固体废物影响分析

本项目 PET-CT 中心注射室、药后候诊室、留观室内均配置铅废物桶,产生的沾有微量放射性核素的固体废物均在其中暂存,每天诊断工作结束后集中收集并贴上标签(注明核素名称、日期)后,暂存于废物暂存柜,自然衰变 13 个半衰期(约 24h)、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理。

校准源为 V 类放射源,退役后由厂家回收或送城市放射性废物库处置。工作人员工作中会产生的少量的生活污水和生活垃圾。本项目 PET-CT 中心不新增劳动定员,由医院内部进行调配,不新增生活污水和生活垃圾排放量。

## 二、DSA 机房

### 1、工作量

本项目射线装置包括透视和采集两种工作模式,根据医院提供的信息,本项目正常运行后,每年最多进行 500 台手术,每次手术开机照射时间包括:透视 15min、采集 1min,则本项目射线装置的预计年开机工作时间如下。

表 11-7 不同工作模式下的预计开机时间

工作模式	每次照射时间	年最大工作量	年开机时间
透视	15min	500 台手术	125h
采集	1min	500 台手术	8.33h

### 2、各关注点剂量率估算

本项目 DSA 主束照向患者,各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响。手术时,医生在待诊病人旁进行导管操作,操作过程中收到泄漏辐射及病人体表散射照射。因此,本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周边环境的辐射影响。

本项目 DSA 最大管电压为 125kV,最大管电流为 1250mA,但实际使用时,为防止球管烧毁并延长其使用寿命,管电压和功率通常预留 30%的余量,即管电压控制在 90kV 以下。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  $4.05\text{E}+06\mu\text{Gy}/\text{h}$ ,采集时  $2.02\text{E}+08\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

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

4.05E+03μGy/h，采集时 2.02E+05μGy/h。本项目各关注点分布示意简图如下。

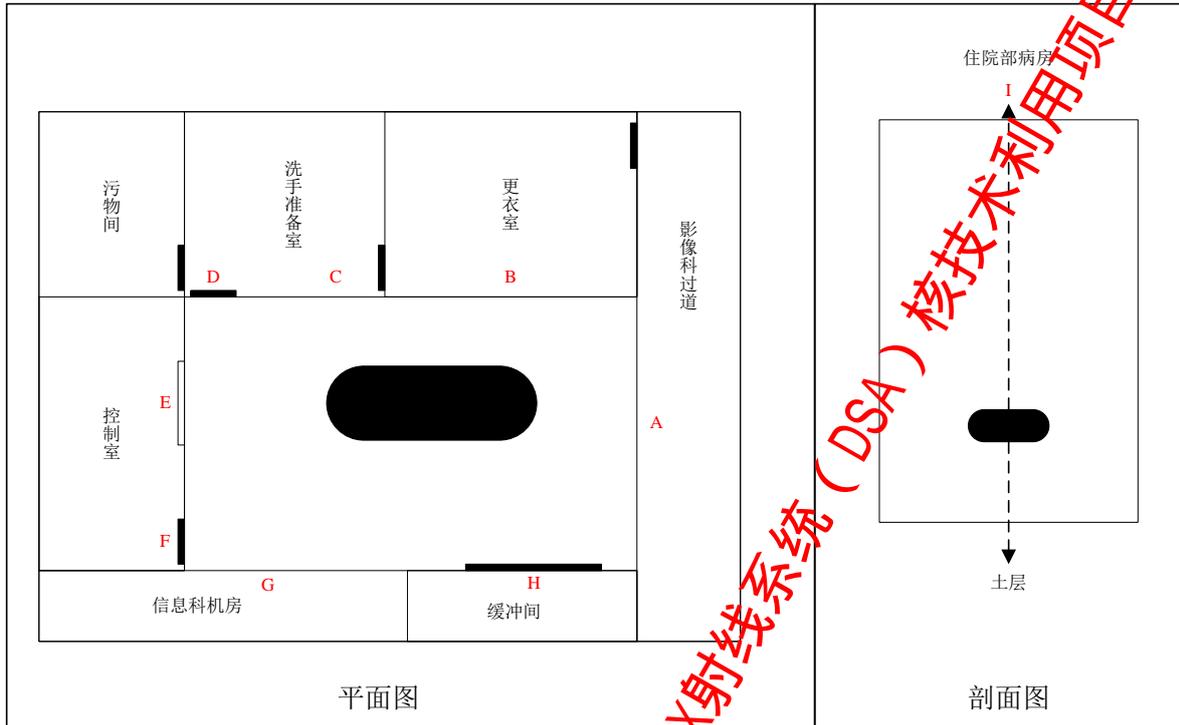


图 11-2 各关注点分布简图

(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》(GBZ130-2013)附录 D 计算。

$$H_L = \frac{H_0 \times B \times f}{d^2} \quad (11-1)$$

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11-2)$$

式中： $H_L$ ——关注点漏射剂量率，μGy/h；

$f$ ——设备射线泄漏率，取 0.1%；

$H_0$ ——离靶 1m 处的剂量率，μGy/h；

$d$ ——计算点距源点的距离，m；

$B$ ——透射因子；

$X$ ——铅厚度，mm；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-8。

表 11-8 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	材料	参数		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
90kV	铅	3.067	18.83	0.7226

注： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  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、四周墙壁、房顶、地板等各关注点的泄漏辐射剂量率估算见表 11-9 和表 11-10。

表 11-9 各关注点泄露辐射剂量率估算结果—采集状态

关注点位置描述		编号	$H_0$	f	d	X	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	透射因子 B	采集状态剂量率
单位		/	$\mu\text{Gy/h}$	%	m	mm	/	/	/	/	$\mu\text{Gy/h}$
东	墙外（影像科过道）	A	2.02E+08	0.1	3.09	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	3.05E-04
北	墙外（更衣室）	B	2.02E+08	0.1	2.79	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	3.74E-04
	墙外（洗手准备室）	C	2.02E+08	0.1	2.79	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	3.74E-04
	医护防护门外（洗手准备室）	D	2.02E+08	0.1	2.79	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	1.73E-01
西	观察窗外（控制室）	E	2.02E+08	0.1	3.09	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	1.41E-01
	医护防护门外（控制室）	F	2.02E+08	0.1	3.09	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	1.41E-01
南	墙外（信息科机房）	G	2.02E+08	0.1	2.79	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	3.74E-04
	患者防护门外（缓冲间）	H	2.02E+08	0.1	2.79	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	1.73E-01
楼上住院部病房		I	2.02E+08	0.1	2.97	4.5	3.067	18.83	0.7226	6.68E-08	1.53E-03
机房医生操作位（铅衣+铅帘）		/	2.02E+08	0.1	1	1	3.067	18.83	0.7226	3.51E-03	7.10E+02

表 11-10 各关注点泄露辐射剂量率估算结果—透视状态

关注点位置描述		编号	H <sub>0</sub>	f	d	X	α	β	γ	透射因子 B	采集状态剂量率
单位		/	μGy/h	%	m	mm	/	/	/	/	μGy/h
东侧	墙外（影像科过道）	A	4.05E+06	0.1	3.09	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	6.11E-06
北侧	墙外（更衣室）	B	4.05E+06	0.1	2.79	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	7.50E-06
	墙外（洗手准备室）	C	4.05E+06	0.1	2.79	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	7.50E-06
	医护防护门外（洗手准备室）	D	4.05E+06	0.1	2.79	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	3.46E-03
西侧	观察窗外（控制室）	E	4.05E+06	0.1	3.09	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	2.82E-03
	医护防护门外（控制室）	F	4.05E+06	0.1	3.09	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	2.82E-03
南侧	墙外（信息科机房）	G	4.05E+06	0.1	2.79	5	3.067	18.83	0.7226	1.44E-08	7.50E-06
	患者防护门外（缓冲间）	H	4.05E+06	0.1	2.79	3	3.067	18.83	0.7226	6.66E-06	3.46E-03
楼上住院部病房		I	4.05E+06	0.1	2.97	4.5	3.067	18.83	0.7226	6.68E-08	3.07E-05
机房医生操作位（铅衣+铅帘）		/	4.05E+06	0.1	1		3.067	18.83	0.7226	3.51E-03	1.42E+01

(2) 散射辐射剂量率估算

① 估算方法

对于病人体表的散射 X 射线可以用反照率法估计。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）P437：

$$H_S = \frac{H_0 \times \alpha \times B \times (S/400)}{(d_0 \times d_s)^2} \quad (11-3)$$

式中：H<sub>S</sub>—关注点处的患者散射剂量率，μGy/h；

H<sub>0</sub>—距靶点 1m 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 400cm<sup>2</sup> 散射面积），取自《辐射防护手册第一分册》P437 表 10.1；

S—散射面积，取典型值 100cm<sup>2</sup>；

d<sub>0</sub>—源与患者的距离，一般取 0.3m；

d<sub>s</sub>—患者与关注点的距离，m；

B—屏蔽透射因子，按式 11-2 计算。

② 估算结果

本项目防护门、观察窗、四周墙壁、房顶、地板等各关注点的泄漏辐射剂量率估算见表 11-11 和表 11-12。

表 11-11 各关注点散射辐射剂量率估算结果—采集状态

关注点位置描述		编号	H <sub>0</sub>	α	透射因子 B	S	d <sub>0</sub>	d <sub>s</sub>	采集状态剂量率
单位		/	μGy/h	/	/	cm <sup>2</sup>	m	m	μGy/h
东 侧	墙外（影像科过道）	A	2.02E+05	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.8	4.83E-07
北 侧	墙外（更衣室）	B	2.02E+05	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.5	6.06E-07
	墙外（洗手准备室）	C	2.02E+05	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.5	6.06E-07
	医护防护门外（洗手准备室）	D	2.02E+05	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.5	2.80E-04
西 侧	观察窗外（控制室）	E	2.02E+05	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.8	2.23E-04
	医护防护门外（控制室）	F	2.02E+05	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.8	2.23E-04
南 侧	墙外（信息科机房）	G	2.02E+05	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.5	6.06E-07
	患者防护门外（缓冲间）	H	2.02E+05	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.5	2.80E-04
楼上住院部病房		I	2.02E+05	0.0013	6.68E-08	100	0.5	2.8	2.24E-06
机房医生操作位（铅衣+铅帘）		/	4.05E+06	0.001	1	1	3.0 67	18.8 3	0.7226

表 11-12 各关注点散射辐射剂量率估算结果—透视状态

关注点位置描述		编号	H <sub>0</sub>	α	透射因子 B	S	d <sub>0</sub>	d <sub>s</sub>	透视状态剂量率
单位		/	μGy/h	/	/	cm <sup>2</sup>	m	m	μGy/h
东 侧	墙外（影像科过道）	A	4.05E+03	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.8	9.68E-09
北 侧	墙外（更衣室）	B	4.05E+03	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.5	1.21E-08
	墙外（洗手准备室）	C	4.05E+03	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.5	1.21E-08
	医护防护门外（洗手准备室）	D	4.05E+03	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.5	5.61E-06
西 侧	观察窗外（控制室）	E	4.05E+03	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.8	4.47E-06
	医护防护门外（控制室）	F	4.05E+03	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.8	4.47E-06
南 侧	墙外（信息科机房）	G	4.05E+03	0.0013	1.44E-08	100	0.5	2.5	1.21E-08
	患者防护门外（缓冲间）	H	4.05E+03	0.0013	6.66E-06	100	0.5	2.5	5.61E-06
楼上住院部病房		I	4.05E+03	0.0013	6.68E-08	100	0.5	2.8	4.49E-08
机房医生操作位（铅衣+铅帘）		/	4.05E+03	0.0013	3.51E-03	100	0.5	0.5	7.40E-02

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用直线加速器使用

(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由式 11-4 计算得到。

$$H_W = H_R \times K \times T \times t \quad (11-4)$$

式中： $H_W$ ——年受照剂量；

$H_R$ ——计算点附加剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

$K$ ——有效剂量与吸收剂量换算系数，取  $1\text{Sv/Gy}$ ；

$T$ ——人员居留因子，参考《工业 X 射线探伤室放射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A 中的表 A.1，职业人员全居留取 1，公众人员部分居留取 1/4、偶然居留取 1/8；

$t$ ——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、四周墙壁、房顶、地板等各关注点人员受到的附加年有效剂量率估算见表 11-13。

表 11-13 DSA 工作场所各关注点处 X-γ 辐射剂量率

关注点位置描述		编号	采集状态				透视状态				换算系数 K	人员居留因子 T	附加年有效剂量率 H <sub>w</sub>	年剂量约束限值	人群
			泄漏辐射剂量率 H <sub>L</sub>	散射辐射剂量率 H <sub>s</sub>	总有效剂量率 H <sub>R</sub>	年曝光时间	泄漏辐射剂量率 H <sub>L</sub>	散射辐射剂量率 H <sub>s</sub>	总有效剂量率 H <sub>R</sub>	年曝光时间					
单位		/	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	μGy/h	μGy/h	μGy/h	h/a	Sv/Gy	/	mSv/a	mSv/a	/
东	墙外（影像科过道）	A	3.05E-04	4.83E-07	3.05E-04	8.33	6.11E-06	9.68E-09	6.12E-06	125.00	1	1/4	8.28E-07	0.25	公众
北	墙外（更衣室）	B	3.74E-04	6.06E-07	3.75E-04	8.33	7.50E-06	1.21E-08	7.51E-06	125.00	1	1/4	1.02E-06	0.25	公众
	墙外（洗手准备室）	C	3.74E-04	6.06E-07	3.75E-04	8.33	7.50E-06	1.21E-08	7.51E-06	125.00	1	1/4	1.02E-06	0.25	公众
	医护防护门外（洗手准备室）	D	1.73E-01	2.80E-04	1.73E-01	8.33	3.46E-03	5.61E-06	3.47E-03	125.00	1	1/4	4.69E-04	0.25	公众
西	观察窗外（控制室）	E	1.41E-01	2.23E-04	1.41E-01	8.33	2.82E-03	4.47E-06	2.83E-03	125.00	1	1	1.53E-03	5.00	职业人员
	医护防护门外（控制室）	F	1.41E-01	2.23E-04	1.41E-01	8.33	2.82E-03	4.47E-06	2.83E-03	125.00	1	1	1.53E-03	5.00	职业人员
南	墙外（信息科机房）	G	3.74E-04	6.06E-07	3.75E-04	8.33	7.50E-06	1.21E-08	7.51E-06	125.00	1	1/8	5.08E-07	0.25	公众
	患者防护门外（缓冲间）	H	1.73E-01	2.80E-04	1.73E-01	8.33	3.46E-03	5.61E-06	3.47E-03	125.00	1	1/4	4.69E-04	0.25	公众
楼上住院部病房		I	1.53E-03	2.24E-06	1.53E-03	8.33	3.07E-05	4.49E-08	3.07E-05	125.00	1	1/4	4.15E-06	0.25	公众
机房内医生操作位（铅衣+铅帘）		/	7.10E+02	3.69E+00	7.14E+02	4.17	1.42E+01	7.40E-02	1.43E+01	62.50	1	1	3.87	5.00	职业人员

### ③ 剂量率估算结果分析

由表 11-13 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 X- $\gamma$  辐射剂量率在  $3.05 \times 10^{-4} \sim 1.73 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ ; 透视模式下机房外各关注点处 X- $\gamma$  辐射剂量率在  $6.12 \times 10^{-6} \sim 3.47 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ , 满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的限值。

采集模式下医生操作位采集模式下 X- $\gamma$  辐射剂量率为  $714 \mu\text{Gy/h}$ ; 透视模式下, 机房内医生操作位 X- $\gamma$  辐射剂量率为  $14.30 \mu\text{Gy/h}$ 。此外, 上述评价是基于保守假设进行的。实际运行时, DSA 工作场所周围的辐射剂量率水平可以维持在正常本底水平。

本项目控制室工作人员的年附加有效剂量为  $3.88 \mu\text{Sv/a}$ , 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中要求的工作人员连续 5 年年平均有效剂量 ( $20\text{mSv/a}$ ) 和本次评价提出的年管理剂量约束值 ( $5 \mu\text{Sv/a}$ ); 公众年附加有效剂量为  $0.00021 \mu\text{Sv/a} \sim 1.19 \mu\text{Sv/a}$ , 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中公众年有效剂量控制目标 ( $1\text{mSv/a}$ ) 和本次评价提出的年管理剂量约束值 ( $0.25\text{mSv/a}$ )。

本项目拟调配 6 名专业人员进行介入治疗 (2 名护士、1 名影像技术和 4 名医生), 拟分 2 组轮流进行相关操作, DSA 机房工作人员为专职工作人员, 不参与其他放射性工作, 则每组人员 (医生操作位) 所受的年附加有效剂量为  $3.87\text{mSv/a}$ , 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中要求的工作人员连续 5 年年平均有效剂量 ( $20\text{mSv}$ ) 和本次评价提出的年管理剂量约束值 ( $5\text{mSv/a}$ )。事实上, 上述计算是偏保守的, 忽略了设备材料的衰减作用和人体的吸收作用, 此外本项目 DSA 设备配备床边操作系统、床边剂量控制系统等防护设施, 可实时显示剂量率、调节运行档位, 因此实际本项目血管造影机在正常运行情况下, 医护人员受到的年附加剂量率将远小于理论计算数值。

### 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 DSA 工作场所已安装系统, 风口位于 DSA 机房上方天花板处, 风量为

1000m<sup>3</sup>/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)“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,DSA 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 0.20mg/m<sup>3</sup>,氮氧化物为 0.25mg/m<sup>3</sup>)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。

#### 4、固体废物影响分析

本项目 DSA 机房不新增劳动定员,由医院内部进行调配,不新增生活垃圾排放量。本项目 DSA 根据病人需要打印出的胶片由病人自行带走;介入手术时会产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料,月排放量约为 0.5t,年排放量约为 6t;经专用医疗废物桶收集后送至医疗废物暂存间暂存,统一委托有资质单位处置。DSA 工作场所的固体废物均得到合理处置,对环境的影响较小。

### 事故影响分析

#### 一、PET-CT 中心

本项目 PET-CT 中心为乙级非密封源工作场所,使用的 PET-CT 为 III 类射线装置,使用的校准源为 V 类放射源。在 PET-CT 诊断治疗过程中,<sup>18</sup>F 和放射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;PET-CT 在开机曝光期间,会产生 X 射线,可能会造成意外照射。

#### 1、PET/CT 事故工况污染

(1) 对放射性药物 <sup>18</sup>F 管理不善,造成放射性药物丢失或被盗造成的外照射;放射性药物包装破损造成场所的污染;

(2) 对仪器校验源 <sup>68</sup>Ge 管理不善,造成校验源丢失或被盗造成的外照射;

(3) 对注射放射性药物 <sup>18</sup>F 的患者管理不善,则患者体内正电子放射性药物发出射线产生外照射对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 <sup>18</sup>F 滴洒在台面、地面或其他地方,将造成放射性表面污染,人员受到意外照射;

(5) 在 PET-CT 开机曝光时,无关人员进入机房或未离开机房,从而受到不必要的较大剂量辐射照射;

(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辐射损伤。

## 2、事故处理方法及预防措施

针对 PET-CT 中心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，及时进行表面放射性去污处理，减轻其产生的外照射；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拭，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  $\beta$  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  $\beta$  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  $^{68}\text{Ge}$  或  $^{18}\text{F}$  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。

### 二、医用血管造影 X 射线系统

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。DSA 运行中存在潜在危险和风险事故，本次评价对其进行分析和预测，说明项目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、DSA 事故工况

- (1) 职业人员违反操作规程或误操作，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) 警示标志不合理、连锁失效发生故障而使无关人员进入治疗室造成误照射。

### 2、事故情况下剂量分析

本次评价假设 DSA 设备发生事故，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 X 射线照射，剂量率透视取  $4.05E+03mGy/h$ ，采集取  $2.02E+05mGy/h$ ，则在透视情况下距离设备 1m 处 1min 受到的剂量率为  $0.31mGy/h$ ，采集情况 1min 受到的剂量率为  $15.824mGy/h$ 。即事故情况下，透视约 47s、采集 0.94s 后公众受到的剂量率将高于  $0.25mSv/a$  的公众年有效剂量约束值。

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，避免无关人员误入正在使用 X 射线装置的手术室。

### 3、事故应急措施

为减少事故发生及发生后能采取有效防范措施，西安中医脑病医院需做好以下防范措施：

(1) 定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

(2) 凡涉及对 DSA 进行操作，必须有明确的操作规程，并做到“制度上墙”（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在放射诊断操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员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；每月对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

(4) 加强放射工作人员的管理，DSA 开机前，必须确保无关人员全部撤离后方可开启；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) 加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区管理，限制公众在监督区长期滞留。

(6) 检修人员准备进入机房时，必须携带个人剂量计。

(7) 检查系统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。

(8) 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。

(9) 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。

(10) 辐射安全领导小组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，一旦发生事故时可立即执行。

(12) 操作人员需持证上岗，确保岗位责任制度的落实，严肃查处违规作业。

### 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，针对可能发生的风险事故，西安中医脑病医院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。当发生事故时，医院应当立即启动单位的辐射事故应急预案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，并在1h内向当地环境保护部门和公安部门报告，发生人员超剂量事故的还应向卫生部门报告。

表 12 辐射安全管理

### 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 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，为了加强非密封放射源和射线装置的安全和防护的监督管理，促进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，西安中医脑病医院应成立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) 负责本院辐射安全与环境保护管理工作；
- (3) 组织制定本院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) 安排从事射线装置工作的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，开展辐射安全环保监测，对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，个人剂量监测；并做好相应资料的档案管理工作；
- (8) 定期向环保和监管部门报告安全工作，接受环保监督、监测部门的检查指导。

#### 二、人员配备与技能

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 中心和 DSA 机房工作人员将由医院统一调配，目前人员未定，参与本项目后不参与其余设备使用。建设单位应该尽快组织人员参加辐射安全与防护培训取得合格证书，持证上岗。辐射工作人员取得上岗证后，应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定，每四年进行再培训。

### 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》中第十六条第六款的要求，使用射线装置的单位应当具备有健全的操作规程、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；第七款的要求，使用射线装置的单位有完善的辐射事故应急措施。

医院应制定的放射防护相关管理制度主要包括：

- (1) 辐射事故应急预案；
- (2) 辐射安全管理制度；
- (3) 放射防护管理制度；
- (4) 放射工作场所监测制度；
- (5) 放射源安全保卫制度；
- (6) 放射性同位素使用登记制度；
- (7) 放射性药品配置制度；
- (8) 辐射工作人员培训制度；
- (9) 射线装置的检修维护制度；
- (10) 放射个人防护用品使用管理制度。
- (11) 辐射危害告知制度
- (12) 受检者安全防护制度
- (13) 医疗放射性废物处理规定
- (14) 放射性废物管理制度

建设单位在取得环评批复后，应按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的相关要求，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，包括个人剂量测量报警仪、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，至少有一名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作”。

医院将为本项目配备 1 台 X-γ 剂量率测量仪、1 台表面沾污仪，为辐射工作人员配备个人剂量计和个人剂量报警仪。

### 2、监测方案

根据西安中医脑病医院诊疗特点，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辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，并建立监测技术档案；监测数据纳入年度评估报告，并上报环保部门备案。

(2) 建设单位需利用自备的 X-γ 剂量率测量仪、表面沾污仪对工作场所进行定期监测，并建立档案。

(3) 定期委托有资质的单位对产生辐射的仪器设备进行防护监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1~2 次。

(4) 辐射工作人员佩戴个人剂量计定期（不少于 1 次/季度）送有资质单位进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案。

(5) 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，核技术应用单位应向有关环境保护主管部门提交上一年度的本单位辐射安全和防护状况年度评估报告。

### 4、环境保护投资估算

本项目总投资 1830 万元，其中环保投资 208 万元，占总投资的 11.37%，主要用于环保设施、辐射安全防护设施建设，个人防护用品以及辐射监测仪器购置等。环保投资估算见表 12-1。

表 12-1 项目环保投资估算表

实施时段	类别	污染源或污染物	污染防治措施或设施	建设费用	运行维护费用	其他费用	资金来源	责任主体
项目准备阶段	环境咨询	—	—	—	—	10.0	建设单位自有资金	设计单位
施工期	废气	施工扬尘、机械废气等	定期洒水、封闭运输等	3.0	—	—	建设单位环保专项资金	施工单位
	废水	施工废水	单体沉淀池 1 个	3.0	—	—		
	固体废物	建筑垃圾	运至西安市指定的建筑垃圾填埋场	2.0	—	—		
		生活垃圾	统一纳入西安市生活垃圾清运系统	1.0	—	—		
项目验收阶段	—	—	—	—	—	10.0	建设单位自有资金	建设单位
运营期	废气	NO <sub>x</sub> 、O <sub>3</sub>	2 套通风换气	20.0	—	—	建设单位环保专项资金	建设单位
	辐射环境	γ 射线和中子	PET-CT 中心、DSA 机房防护墙、防护门	—		—		
			铅废物桶	—	—	—		
			放射性废物暂存柜	3.0	1.0	—		
		放射性废水衰变系统	10.0	2.0	—			
环境管理	成立辐射安全与环境保护管理小组；建立环境管理制度			—	—	—	建设单位环保专项资金	建设单位
	配备实时（视频）监控系统			40.0	20.0	—		
环境监测	配备辐射环境检测仪器，定期自检			—	—	40.0	建设单位环保专项资金	建设单位
	辐射工作人员配备个人剂量计，定期送检			—	—	16.0		
	委托有资质单位定期对暂存库及工作人员辐射剂量进行监测			—	—	20.0		
总投资（万元）				83	29	96	—	—
				208			—	—

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 12-2。

表 12-2 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或指派辐射管理专职人员	成立辐射安全与环境保护管理小组
2	辐射安全防护措施	安全措施（门灯联动装置、警示标志、工作指示灯等）	门灯联动装置、警示标志、工作指示灯运行正常
3	人员配备	辐射防护与安全培训和考核	辐射工作人员应参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗
		个人剂量检测	辐射工作人员个人剂量计定期、监测周期一般为 30 天，最长不应超过 90 天）进行监测并建立个人剂量档案
		人员职业健康管理	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
		个人剂量报警仪	有个人剂量报警仪
		个人防护用品	依据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）要求，为 PET-CT 和 DSA 机房工作人员及患者配备个人防护用品
		辅助防护设施（工作人员）	依据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）要求，为 DSA 机房配备铅悬挂防护屏、铅防护帘布、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施
		放射性废物收集桶及暂存柜	在注射室配备放射性废物暂存柜；在注射室、药液换瓶室、留观室内配置铅废物桶
		辐射环境监测仪器	配备有 X-γ 剂量率测量仪、表面沾污仪，满足医院自行监测需要
5	监测限值要求	个人剂量监测	工作人员和公众所受到的年附加有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对工作人员要求的剂量限值 20mSv/a 和本次评价提出的管理限值 5mSv/a、对公众要求的剂量限值 1mSv/a 和本次评价提出的管理限值 0.25mSv/a 的要求
		PET-CT 中心放射性表面污染控制水平	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平
		DSA 机房屏蔽体外监测限值	工作场所外周围各关注点处的辐射剂量率均能够满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5μSv/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	应制定《辐射事故应急预案》、《辐射安全管理制度》、《放射防护管理制度》、《放射工作场所监测制度》、《放射源安全保卫制度》、《放射性同位素使用登记制度》、《放射性药品配置制度》、《辐射工作人员培训制度》、《射线装置的检修维护制度》、《放射个人防护用品使用管理制度》、《放射性废物管理制度》等管理制度

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用直线加速器项目公示使用

## 辐射事故应急

为有效防护、及时控制放射事故所致的伤害，加强放射源及射线装置安全监测和控制等管理工作，保障放射相关工作人员以及放射源、射线装置周围人员的健康安全，避免环境辐射污染，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第449号）、其它有关法律、法规的规定和职能管理部门要求，建设单位应建立《辐射事故应急预案》。

应急预案主要包括以下内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急；
- (3) 可能发生辐射事故类别与应急响应措施；
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序及人员和联系方式。

对突发放射性事故，建设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。建设单位同时应具备应急反应机制和应急处理能力，实现应急工作的科学化、规范化。建设单位应从经费、物资、人员和技术人员方面做好准备工作，定期进行培训以应急时之需。今后在预案的实施中，应根据国家发布的新的相关法律法规内容，结合检查工作的实际情况对预案做补充修改，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

西安中医脑病医院位于西安市矿山路 368 号；西安中医脑病医院新建 PET-CT 中心及医用血管造影 X 射线系统（DSA）核技术利用项目包含非密封源工作场所（PET-CT 中心）和医用血管造影 X 射线系统（DSA）两部分内容。

非密封源工作场所（PET-CT 中心）位于西安中医脑病医院 1 号楼（残障儿童门诊住院康复楼）地下二层。PET-CT 中心拟使用放射性核素  $^{18}\text{F}$  对患者进行诊疗，年最大用量为  $1.48 \times 10^{12}\text{Bq}$ ；设备中配套有 3 枚  $^{68}\text{Ge}$  密封放射源，活度为  $4.625 \times 10^7\text{Bq}$ （1.25mCi）~ $9.25 \times 10^7\text{Bq}$ （2.5mCi），为 V 类密封放射源，用于对仪器设备的校准，确保诊断结果的准确性。根据放射性核素  $^{18}\text{F}$  的日等效操作量计算结果，西安中医脑病医院 PET-CT 中心按非密封源工作场所分级标准判别为乙级工作场所。

医用血管造影 X 射线系统（DSA 机房）位于西安中医脑病医院 3 号楼（综合康复楼）一层影像科。新增使用 1 台 Allura Centron 型医用血管造影 X 射线系统（DSA），为 II 类射线装置。目前 DSA 机房基本建成，Allura Centron 型医用血管造影 X 射线系统（DSA）已安装完成。

本项目总计投资 1830 万元，其中环保投资 208 万元，占总投资的 11.37%。

2、本项目选址及平面布置合理性分析

本次新建 PET-CT 中心位于医院 1 号楼（残障儿童门诊住院康复楼）地下二层，东侧为电梯间，南侧为停车区域、西侧为楼梯间，楼上为档案室、办公室、医疗废物暂存间及地下车库通道，北侧和地下无建构筑物。PET-CT 中心由车库改造而成，不新增用地，占地属于医疗用地，符合规划要求；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。

本项目 DSA 机房位于医院 3 号楼 1 楼影像科；由 B 超室改造而成，机房不新增用地，占地属于医疗用地，符合规划要求，选址合理。DSA 机房面积为  $31.05\text{m}^2$ ，机房西侧为控制室，北侧为洗手准备室、更衣室，东侧为影像科过道，南侧为病人缓冲间和信息科机房；机房上方为外科病房；下方无建构筑物。机房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，选址及平面布局基本合理。

### 3、实践正当性结论

西安中医脑病医院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，拟建设 PET-CT 中心及医用血管造影 X 射线系统（DSA），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、环境质量和辐射现状

本次辐射环境现状委托西安志诚辐射环境检测有限公司于 2018 年 12 月 28 日对本项目拟建地及周边的辐射环境现状进行监测。

现场监测结果表明：DSA 机房 4 个防护墙外 0.3m 处 X、 $\gamma$  辐射剂量率为 0.08~0.12 $\mu$ Sv/h，DSA 机房室内（背景值）X、 $\gamma$  辐射剂量率为 0.08~0.10 $\mu$ Sv/h；PET-CT 中心拟建场址处 X、 $\gamma$  辐射剂量率为 0.07~0.09 $\mu$ Sv/h；西安中医脑病医院室外草坪（背景值）X、 $\gamma$  辐射剂量率为 0.08~0.12 $\mu$ Sv/h。

与《2018 年 3 季度陕西省辐射环境质量》和《陕西省环境伽马辐射剂量水平现状研究》1988 年报告进行对比，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。

### 5、辐射环境影响评价结论

#### (1) PET-CT 中心

本项目由 2 名工作人员轮流负责注射工作，则注射室每位工作人员年有效工作时间为 17h，年有效剂量为 3.32mSv/a；由 2 名工作人员轮流负责摆位和扫描工作，则其接受年有效剂量为 3.82mSv/a。PET-CT 工作场所周围公众附加年有效剂量最大为 0.134mSv/a，本项目辐射工作人员、周围公众附加年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关规定和本次评价提出的年管理剂量约束值及控制水平。

医院拟在 PET-CT 工作场所西北角设置 1 个衰变室，内设 3 个 2m<sup>3</sup> 的衰变罐；衰变室四周均采取了一定的屏蔽防护措施；PET-CT 诊断中心产生的放射性废水经专用管道排入放射性废水衰变系统，放射性废水暂存 10 个半衰期后排入医院医疗废水处理站，处理达标后排入市政污水管网。

放射性固体废物暂存于废物暂存柜，自然衰变 13 个半衰期（约 24h）、达到清洁解控水平推荐值后作为普通医疗废物处理。

## (2) DSA 机房

本项目 DSA 机房的屏蔽设计满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 中的相关要求。拟采取的各项辐射防护及污染防治措施符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 对辐射防护、安全操作以及防护监测的要求。

经估算分析可知：① 本项目在正常运行期间，采集模式下机房外各关注点处 X- $\gamma$  辐射剂量率在  $3.05 \times 10^{-4} \sim 1.73 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ ；透视模式下机房外各关注点处 X- $\gamma$  辐射剂量率在  $6.12 \times 10^{-6} \sim 3.47 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ ，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的限值。② 本项目控制室工作人员的年附加有效剂量约为  $3.88 \mu\text{Sv/a}$ ，低于  $5 \text{mSv}$  的剂量约束值；公众年附加有效剂量为  $0.00021 \mu\text{Sv/a} \sim 1.19 \mu\text{Sv/a}$ ，低于  $0.25 \text{mSv}$  的剂量约束值。③ 本项目 DSA 机房内每组医护人员的年附加有效剂量为  $3.87 \text{mSv/a}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中要求的工作人员连续 5 年年平均有效剂量 ( $20 \text{mSv}$ )，也不超过本项目对职业人员年有效剂量控制目标 ( $5 \text{mSv}$ )，实际运行中，医护人员受到的年辐射剂量率将远小于理论计算数值。

校准源为 V 类放射源，退役后由厂家回收或送城市放射性废物库处置。工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾。本项目不新增劳动定员，由医院内部进行调配，不新增生活污水和生活垃圾排放量。

## 6、辐射安全管理

西安中医脑病医院应成立辐射安全领导小组，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。

医院应配备 1 台 X- $\gamma$  剂量率测量仪、1 台表面沾污仪，制定日常监测制度，院方定期对辐射工作场所进行监测，并建立监测档案，对每位参与本项目辐射的工作人员配备个人剂量计，定期送检，建立个人剂量档案。对新建的 PET-CT 中心和 DSA 机房，应按照相关要求，配备工作人员、患者的个人防护用品。

## 7、可行性分析结论

综上所述，西安中医脑病医院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。

## 承诺

1、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，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，每年应对医院非密封源工作场所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及时查明原因，采取有效措施妥善处理，并留档案备查。

4、医院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，防止事故发生。

5、医院应根据相关规定配备工作人员、患者个人防护用品，对于铅衣等防护用品勿长时间悬挂，勿折叠，建议平放。每年至少自行检查两次，若发现有老化、断裂或损伤的防护用品，应立即更换新的防护用品。

6、定期检查门灯联动装置、警示灯，确保其处于正常的工作状态。

7、医院应加强对工作人员的辐射安全培训工作，强调在进行非密封放射源操作及介入手术时，医护人员必须穿戴防护用品，并制定相关工作制度。

8、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

仅供西安中医脑病医院新建PET-CT中心及医用血管造影X射线系统(DSA)核技术利用项目公示使用