

# 核技术利用建设项目

## 商洛市中心医院 PET/CT和DSA核技术利用项目 环境影响报告表

(报批稿)

商洛市中心医院

二〇二四年一月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 商洛市中心医院 PET/CT和DSA核技术利用项目 环境影响报告表

建设单位名称：商洛市中心医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：陕西省商洛市商州区商鞅大道37号

邮政编码：726000

联系人：屈伸

电子邮箱：494296502@qq.com

联系电话：17629232884

## 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	21
表 3 非密封放射性物质 .....	21
表 4 射线装置 .....	22
表 5 废弃物（重点是放射性废物） .....	23
表 6 评价依据 .....	24
表 7 保护目标与评价标准 .....	26
表 8 环境质量和辐射现状 .....	42
表 9 项目工程分析与源项 .....	46
表 10 辐射安全与防护 .....	57
表 11 环境影响分析 .....	82
表 12 辐射安全管理 .....	105
表 13 结论与建议 .....	116
表 14 审批 .....	119

附件：

附件1：建设项目环境影响评价委托书

附件2：商洛市中心医院PET/CT和DSA核技术利用项目辐射环境质量现状监测

附件3：商洛市生态环境局关于商洛中心医院重新申办辐射安全许可证的批复  
（商环函〔2023〕142号）

附件4：商洛市中心医院现有辐射安全许可证（陕环辐证〔90012〕）

附件5：商洛市中心医院2022年7月至2023年6月个人剂量监测报告

附件6：商洛市中心医院辐射安全管理制度

附件7：辐射工作人员培训情况

附件8：职业健康体检报告

附件9：现有射线装置2023年度辐射工作场所防护检测报告

**表 1 项目基本情况**

<b>建设项目名称</b>		商洛市中心医院PET/CT和DSA核技术利用项目			
<b>建设单位</b>		商洛市中心医院			
<b>法人代表</b>		<b>联系人</b>		<b>联系电话</b>	
<b>注册地址</b>		陕西省商洛市商州区商鞅大道37号			
<b>项目建设地点</b>		商洛市中心医院核医学科			
<b>立项审批部门</b>		/		<b>批准文号</b>	/
<b>建设项目总投资 (万元)</b>	7000	<b>项目环保投资 (万元)</b>	200	<b>投资比例(环保 投资/总投资)</b>	2.86%
<b>项目性质</b>		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		<b>占地面积 (m<sup>2</sup>)</b>	1400
<b>应用 类型</b>	<b>放射源</b>	<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 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 type="checkbox"/> V 类		
	<b>非密封放射 性物质</b>	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	<b>射线装置</b>	<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		
	<b>其他</b>	/			
	<b>项目概述</b>				
<b>1. 项目背景</b>					
<b>1.1 医院介绍</b>					
<p>商洛市中心医院始建于 1939 年，2022 年 11 月由北新街院区整体迁至现址，位于商洛市商州区商鞅大道 37 号，12 月 27 日正式开诊运行。商洛市中心医院一所是集医、教、研为一体的三级甲等综合医院。</p> <p>商洛市中心医院老院区占地面积狭小，建设用地枯竭，发展空间严重受限，办医条件、服务能力与广大人民群众的就医需求、与全市经济社会发展水平不相适应。为此，商洛市委、市政府提出了购置商洛国际医学中心医院、整体搬迁市中心医院的建</p>					

设办法。在多轮次沟通洽谈的基础上，2022年2月11日，市政府会议研究确立了购置方式、资产评估、资金筹措、人员安置等事项；2022年3月7日，商洛市交投公司与西安国医签订了股权转让框架协议；2022年10月底，双方完成谈判并签署转让合同。至此，市中心医院新院区建设迈出跨越性步伐，为全市医疗事业发展树起了新的里程碑。

2022年11月商洛市中心医院由北新街院区整体迁至现址，12月27日正式开诊运行。商洛市中心医院是国家级胸痛中心示范点和省级危重孕产妇救治中心、卒中中心、创伤中心，现有省级临床重点专科3个，市级重点专科及医疗质量控制中心45个。在岗人员2092人，其中卫技人员1762人，硕博研究生325人（含在读），副高及以上职称人员341人。

新院区坐落于商鞅大道与朝阳路交汇处，三面临街，占地201亩，总建筑面积22.7万平方米，规划床位1800张，是一所无围墙的大型现代化园林式医院。主诊区1号楼单体建筑面积11.8万平方米，由三幢呈三角形分布的12层单体楼组成，楼宇间通过四层连廊建筑相连，构成门诊医技区，五层以上为住院区。空中俯瞰，院区呈现以1号楼为中心、2~9号裙楼“C”形环绕的结构布局，功能完备，流程合理，处处体现着安全人性、舒适便捷、节能环保的设计理念。

## 1.2 项目由来

商洛市中心医院迁入新址后，医院按照“以人为本、方便患者、学科整合、资源集中”的理念，对新院区进行总体规划布置，推行全院一张床服务模式。基础办医条件显著改善，为实现医院高质量发展奠定了坚实基础。

原商洛国际医学中心医院有限公司对其开展的核技术利用项目编制了《医用电子直线加速器、后装机、DSA及放射性同位素应用项目环境影响报告表》，取得了陕西省生态环境厅关于商洛国际医学中心医院有限公司核技术应用项目环境影响报告表的批复（陕环批复〔2020〕18号），并对已投入使用的医用电子直线加速器、DSA等射线装置办理了辐射安全许可证；其中放射性同位素应用项目该部分内容未投入使用。

商洛市中心医院收购原商洛国际医学中心医院有限公司后作为医院新院区，将医院旧址原许可的部分射线装置搬迁至新院区，并接受了原商洛国际医学中心医院有限公司已许可的射线装置。因此商洛市中心医院原许可证的单位地址及核技术利用项目

种类和范围发生变更，对此医院重新申请办理辐射安全许可证。

由于原商洛国际医学中心医院有限公司环境影响报告中涉及的放射性同位素应用项目（包括<sup>99m</sup>Tc、<sup>18</sup>F、<sup>131</sup>I、<sup>32</sup>P、<sup>89</sup>Sr等多种放射性同位素）未投入使用，商洛市中心医院收购后，结合医院实际情况，计划现阶段核医学科仅开展PET/CT使用<sup>18</sup>F进行显像诊断工作，建设丙级非密封放射性物质工作场所（日等效最大操作活度为 $3.70 \times 10^6$ Bq）；此外，医院拟将旧址许可的一台DSA搬迁至新院区1号楼介入科DSA-3手术室开展介入诊疗工作。

为方便医院后续管理，商洛市中心医院委托我公司对医院核医学科PET/CT使用<sup>18</sup>F开展显像诊断和搬迁DSA项目重新进行环境影响评价工作。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）中“五十五、核与辐射 172、核技术利用建设项目“……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）……”应编制环境影响报告表；“……生产、销售、使用III类射线装置的”，应填报环境影响登记表，本项目PET/CT为非密封放射性核素配套使用的射线装置，因此本项目应编制环境影响报告表。

接受委托后，我公司组织技术人员进行了现场勘察，收集、整理有关资料，对项目的建设情况进行了初步分析，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，在现场勘察、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》（HJ10.1-2016）的基本要求，编制了《商洛市中心医院PET/CT和DSA核技术利用项目环境影响报告表》。

### 1.3 实践正当性评价

该项目核医学科使用PET/CT对受检者进行显像诊断，功能检查与形态学检查能有机地结合，使显像具有更高的灵敏度和更清晰的分辨率，可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构，对提高诊断的准确性具有重要作用。使用数字减影血管造影设备（DSA）对提高心脑血管疾病治疗水平具有重大意义，同时也提升了医院整体医疗水平。因此该项目的建设在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益，具有明显的社会效益，因此该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于辐射防护“实践的正当性”的原则。

## 2. 医院现有核技术应用项目基本情况

商洛市中心医院收购了原商洛国际医学中心医院有限公司作为医院新院区，因医院整体搬迁至新院区，原许可证单位地址及核技术利用项目种类和范围发生变更，依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的有关规定，需重新申请办理辐射安全许可证。

医院单位地址变更为陕西省商洛市商州区商鞅大道中段 37 号。将医院 4 台 III 类射线装置搬迁至新院区，C 型臂 X 光机 2 台、G 型臂 X 光机 1 台、移动 DR 机 1 台，新购置车载 CT1 台，以上 5 台 III 类射线装置核技术利用建设项目于 2023 年 1 月 18 日在建设项目环境影响登记表备案系统登记备案。

另外，商洛市中心医院接收原商洛国际医学中心医院有限公司射线装置 20 台，其中 19 台射线装置核技术利用建设项目原商洛国际医学中心医院有限公司已于 2021 年 11 月 18 日办理并取得辐射安全许可证（证书编号：陕环辐证[90019]，有效期至 2026 年 11 月 17 日）；接收原商洛国际医学中心医院有限公司 1 台 III 类射线装置移动 DR（型号：uDR 370i），商洛市中心医院于 2023 年 1 月 19 日在建设项目环境影响登记表备案系统登记备案。

此外，商洛市中心医院原有 1 台新东方 1000NC 型数字 DR 在商洛市商州区沙河子村商洛市中心医院精神卫生中心使用，于 2017 年 8 月 4 日在建设项目环境影响登记表备案系统登记备案。本次医院整体搬迁不涉及该设备，维持原许可现状。

针对以上情况，2023 年 1 月商洛市中心医院向商洛市生态环境局重新申领办理辐射安全许可证，2023 年 5 月 18 日，医院取得了商洛市生态环境局关于商洛中心医院重新申办辐射安全许可证的批复（商环函〔2023〕142 号），辐射安全许可证证书编号：陕环辐证[90012]号；许可使用 II 类、III 类射线装置 26 台，有效期至 2028 年 5 月 17 日，许可内容详见表 1-1。

表 1-1 商洛市中心医院辐射安全许可证种类和范围一览表

序号	装置名称	型号	类别	管电压 kV	管电流 mA	所在位置	备注
1	模拟定位CT	Insitum32	III类	140	400	1号楼B1层H区 放疗科	接收国医
2	医用血管造影 X射线机	Optima IGS 330	II类	125	1000	1号楼3层F区介 入手术室	接收国医
3	医用血管造影 X射线机	Discovery IGS7	II类	125	1000	1号楼3层D区 手术室	接收国医
4	64排CT	Optima CT660	III类	140	515	1号楼B1层D区 急诊医学科	接收国医

5	车载CT	uCT528	Ⅲ类	120	250	3号楼发热门诊	新购，2023年1月备案，202361100200000002
6	256排CT	RevolutionCT	Ⅲ类	120	600	1号楼2层医学影像科二区	接收国医
7	X射线骨密度	ProdlgyPro	Ⅲ类	76	3	1号楼2层医学影像科五区	接收国医
8	数字DR	DRX-EvolutionPlus	Ⅲ类	150	1000	1号楼2层医学影像科二区	接收国医
9	乳腺DR	SeleniaDimen	Ⅲ类	39	200	5号楼B1层健康管理中心	接收国医
10	C型臂X光机	DG3310C1	Ⅲ类	120	5	手术室：商洛市中心医院1号楼3层D区手术室	接收国医
11	C型臂X光机	ZEN-2090Pro	Ⅲ类	110	5	1号楼3层D区手术室	接收国医
12	直线加速器	Elekta Synergy	Ⅱ类	10MV		1号楼B1层H区放疗科	接收国医
13	移动X光机	MobiEye 700T	Ⅲ类	150 kV	630	1号楼A区4层新生儿科	接收国医
14	移动X光机	MobiEye 700T	Ⅲ类	150 kV	630	1号楼C区3层重症医学科	接收国医
15	C型臂X光机	JZ06-1	Ⅲ类	110 kV	50	1号楼3层D区手术室	原有搬迁，2023年1月备案，202361100200000003
16	C型臂X光机	Compact L	Ⅲ类	110 kV	60	1号楼3层D区手术室	原有搬迁，2023年1月备案，202361100200000004
17	G型臂X光机	D-Vision 9000	Ⅲ类	120 kV	50	1号楼3层D区手术室	原有搬迁，2023年1月备案，202361100200000004
18	牙科拍片机	ERGON-X HF	Ⅲ类	70 kV	7	1号楼1层F区口腔科	接收国医
19	数字DR	DRX-Evolution Plus	Ⅲ类	150 kV	1000	1号楼B1层D区急诊医学科	接收国医
20	数字DR	DigiEye 680E	Ⅲ类	150 kV	800	5号楼B1层健康管理中心	接收国医
21	数字DR	CALYPSO; CHORUS	Ⅲ类	150 kV	630	1号楼2层医学影像科四区	接收国医
22	数字DR	新东方 1000NC	Ⅲ类	150 kV	630	商洛市商州区沙河子村商洛市中心医院精神卫生中心	原有，2017年8月备案，201761100200000109



23	数字胃肠机	SONIALVISION	III类	150 kV	1000	1号楼2层医学影像科五区	接收国医
24	口腔CT	Orthophos SL 3D	III类	90 kV	16	1号楼1层F区口腔科	接收国医
25	移动DR	DR200mate	III类	110 kV	300	1号楼A区4层 新生儿科	原有搬迁， 2023年1月 备案， 2023611002 00000005
26	移动DR	uDR 370i	III类	150 kV	800	1号楼B1层D区 急诊医学科	接收国医， 2023年1月 备案，备案 2023611002 00000006

### 3. 项目概况

#### 3.1 建设规模与内容

##### (一) 核医学科 PET/CT

核医学科位于1号楼东侧地下一层，根据医院提供的资料，核医学科总建筑面积约1000m<sup>2</sup>，主要包括：核医学科候诊大厅、患者走廊、更衣室、卫生间、储源室、分装热室、放射性废物室、质检室、运动负荷试验/肺通气/抢救室、PET/CT注射室、PET/CT检查前休息室、PET/CT检查室、PET/CT检查后休息室、PET/CT设备间、PET/CT操作间等；以及其他核素功能用房，包括磷敷贴室、甲功检查室、肾功检查室、SPECT/CT注射室、SPECT/CT卫生间、SPECT/CT扫描前休息区、SPECT/CT检查室、SPECT/CT操作间、SPECT/CT检查后休息室等。

结合医院当前医疗规划，本项目仅涉及PET/CT和放射性药物<sup>18</sup>F的使用。医院拟在PET/CT机房内安装使用1台PET/CT（属于III类射线装置），使用非密封放射性物质<sup>18</sup>F开展PET/CT显像诊断。

根据医院提供的资料，PET/CT使用放射性核素<sup>18</sup>F进行显像诊断，每天最多检查10人次，每人最大药物注射量10mCi。<sup>18</sup>F根据患者情况提前预约登记，向厂家进行定量订购，厂家将分装好的放射性药物送至核医学科注射室。

本项目核医学科拟使用非密封放射性物质和射线装置情况见表1-2。

表 1-2 核医学科拟使用非密封放射性物质、射线装置相关参数一览表

(一) 非密封放射性物质								
核素名称	日诊疗人数	性态	毒性	半衰期	单人核素最大用量 (Bq)	日最大操作活度 (Bq)	用途	来源

$^{18}\text{F}$	10 人	液态	低毒	109.8min	$3.7 \times 10^8$ (10mCi)	$3.7 \times 10^9$	PET/CT 显像	外购
(二) 射线装置								
名称	型号	数量	类别	CT 部分主要技术参数		工作场所		
				最大管电压	最大管电流			
PET/CT	上海联影 uMI 550	1 台	III 类	140kV	420mA	核医学科 PET/CT 机房		

### (1) 工作场所分级

根据《国家电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 非密封放射性物质工作场所的分级规定表 1-3, 项目使用的非密封放射性核素日等效最大操作量见表 1-4。

表1-3 非密封源工作场所的分级

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

表1-4 非密封放射性物质(核素)日等效最大操作量

项目	核素种类	毒性分组/ 毒性组别修正因子	操作方式/ 操作修正因子	日实际最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)
PET/CT显像	$^{18}\text{F}$	低毒/0.01	很简单操作/10	$3.7 \times 10^9$	$3.7 \times 10^6$

注: 日等效最大操作量=日实际最大操作量×毒性组别修正因子÷操作修正因子。

根据表 1-4 可知, 核医学科使用 PET/CT 的日等效最大操作量为  $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ , 在豁免活度值以上  $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$  之间, 属于丙级非密封放射性物质工作场所。

### (2) 工作场所分类

核医学科工作场所分类见表 1-5, 根据《核医学科放射防护要求》(GBZ120-2020), 项目核医学科不同工作场所分类情况见表 1-6。

表1-5 核医学科工作场所分类一览表

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

表1-6 项目核医学科工作场所分类情况一览表

项目	工作场所	核素毒性权重因子	操作性修正因子	日实际最大操作量 (MBq)	放射性核素的加权活度 (MBq)	工作场所类别
<sup>18</sup> F 诊断	储源室	1	1	3700	3700	II
	药物准备室	1	1	3700	3700	II
	注射室	1	10	3700	370	II
	质检室	1	10	3700	370	II
	抢救室	1	10	3700	370	II
	检查前休息室	1	10	3700	370	II
	PET/CT机房	1	10	3700	370	II
	检查后休息室	1	10	3700	370	II

注：加权活度=计划的日操作最大量×核素毒性权重因子÷操作性修正因子。

由上表可知，核医学科使用 PET/CT 辐射工作场所均为 II 类工作场所。

### (二) 数字减影血管造影 X 射线机 (DSA)

项目 DSA 安装位置为 1 号楼三层介入科 DSA-3 机房，DSA 基本参数见表 1-7。

表1-7 DSA基本参数表

设备名称	型号	最大管电压	最大管电流	分类	工作场所	原位置
DSA	Azurion 7 M20	125kV	1000mA	II 类	1号楼三层介入科 DSA-3手术室	北新街院区综合楼1楼

### 3.2 劳动定员及工作负荷

#### (1) 核医学科

核医学科拟配备 5 名放射工作人员，包括 <sup>18</sup>F 注射 1 人，患者摆位和 PET/CT 扫描由 2 人共同完成，以及其他相关人员 2 名。

核医学科 PET/CT 预计每年工作时间约 250d，每天最多接待患者 10 人，则年累计接待患者人数约 2500 人。在 PET/CT 诊断前需向患者注射一定量的放射性药物 <sup>18</sup>F，预计单人最大注射量为 10mCi。

#### (2) 数字减影血管造影 X 射线机 (DSA)

医院现有介入放射工作人员 45 人，本项目 DSA 拟从现有人员中配备 10 名放射工作人员，包括影像医师 2 名、影像技师 2 名、临床手术医生 4 名，护士 2 名。

DSA 正常运行后，预计每年进行手术约 300 次，每次手术采集时间约为 0.5 分钟，透视时间约为 15 分钟；每年手术采集总出束时间 2.5h，透视总出束时间 75h。

#### 4. 项目选址及周围环境保护目标

##### 4.1 医院周边环境关系

商洛市中心医院新址位于商洛市商州区商鞅大道 37 号，东侧为上上洛丹江小镇，南侧为商鞅大道，西侧为丹鹤绿洲小区，北侧为丹江。

医院地理位置图见图 1-1，四邻关系图见图 1-2，医院总平面布置情况见图 1-3。



图1-1 医院地理位置图



图1-2 医院四邻关系图



图1-3 医院总平面布置示意图

#### 4.2 项目场址周边环境关系

根据医院提供的资料，核医学科位于1号楼东侧地下一层，核医学科正上方为地面绿化，北侧为放疗科，南侧为库房。核医学科整体布局图见图1-4。

本项目 DSA 机房位于1号楼三层 DSA-3 室，东西两侧为 DSA 设备机房；南侧为患者走廊，北侧为医生操作台，楼下为影像检查候诊区，楼上为庭院。DSA 机房所在1号楼三层介入科局部平面布局图见图1-5，DSA 机房楼下局部平面布局图见图1-6，DSA 机房楼上局部平面布局图见图1-7。





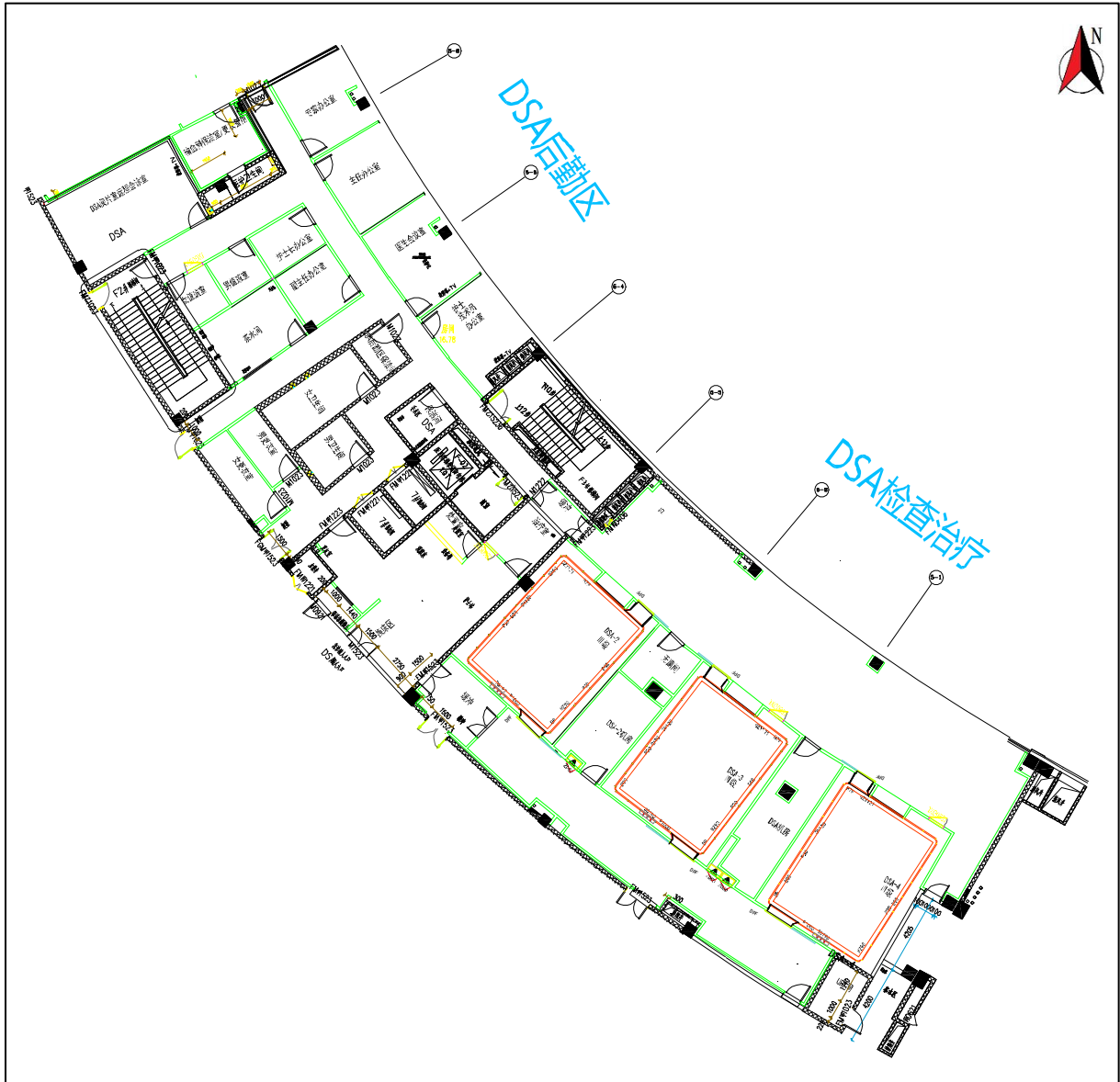


图1-5 1号楼3层介入科科平面布局图





图1-6 DSA机房正下方楼下（1号楼二层）局部平面布局图

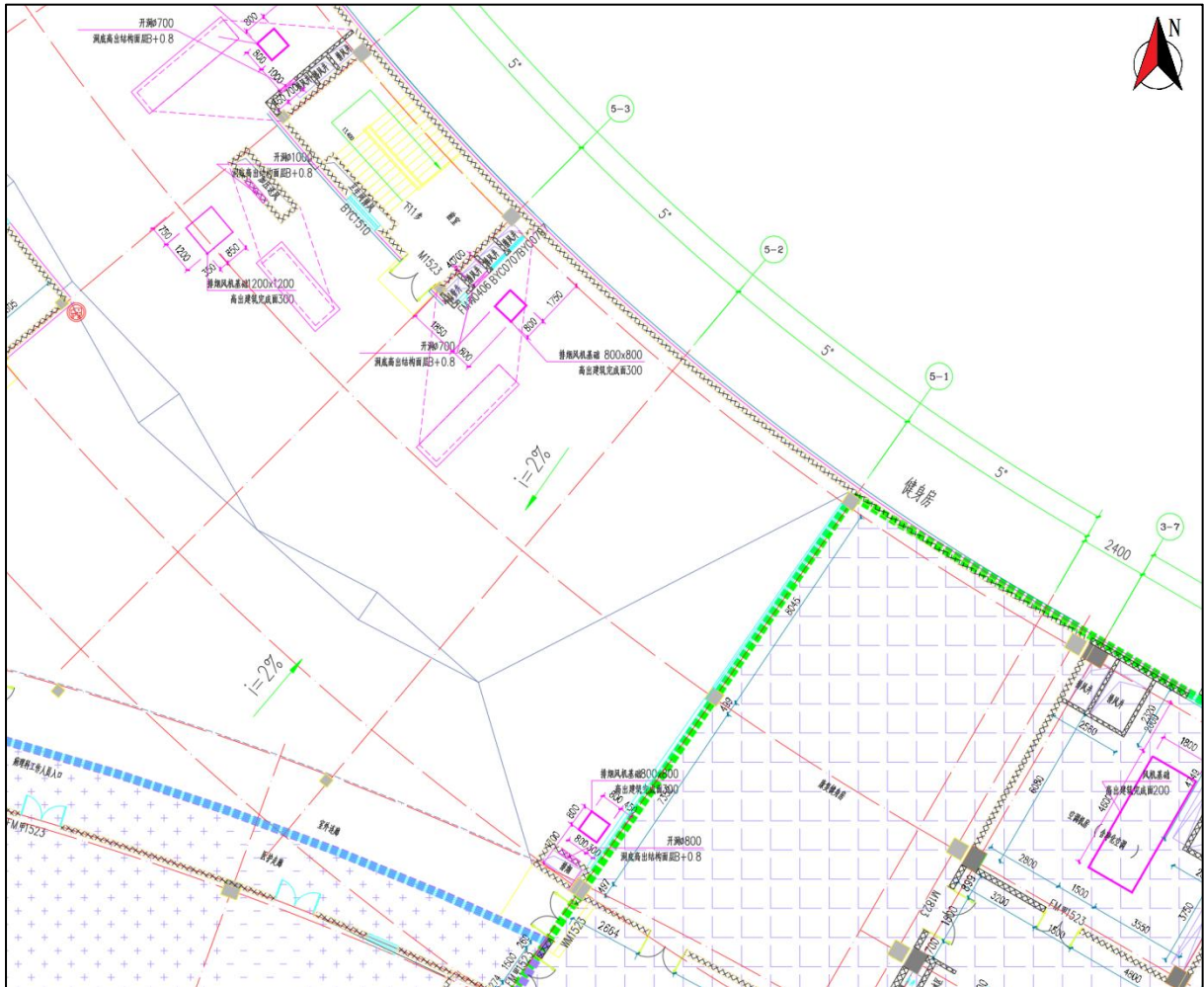


图1-7 DSA机房正下方楼上（1号楼四层）局部平面布局图

### 4.3项目选址合理性分析

#### (1) 核医学科

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关选址要求，核医学科选址具体情况分析见表 1-8。

表 1-8 核医学科选址合理性分析

法规标准	相关要求	设计情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	核医学科位于 1 号楼地下一层东侧，为建筑物底层。主要布置核医学科及相关配套功能用房，无人员长期居留；核医学科诊断区自成一区，通过设计严格的时间空间管控模式来控制辐射源的活动，可实现工作人员、患者、放射性药物、放射性废物路径相对独立。	符合要求
	5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	核医学科正上方为地面绿化，北侧为放疗科，南侧为库房。核医学科与非放射性工作场所有明确的分界墙隔离，工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。	符合要求
	5.1.3 核医学工作场所排风口的的位置尽可能远离周边高层建筑。	核医学科放射性废气引至地面排放，排风口处无人流较大区域，且废气经活性炭吸附处理后再排放。	符合要求
《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020)	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。	核医学工作场所功能用房相对集中，不邻接产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科设计有单独的出入口和独立的候诊区，出口未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	符合要求

综上，核医学科选址和布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）选址相关要求。

#### (2) DSA 机房

本项目 DSA 机房位于 1 号楼三层介入科，手术区域相对独立，手术区内主要为控制室和手术室的医务工作人员与需要手术的患者，一般不会出现其他人员。

综上，项目选址充分考虑了邻近周围场所的防护和安全，从辐射场所的楼层平面布局可知，辐射场所与其辅助用房布局分区明确，不相互穿插干扰。项目选址合理。

## 5. 医院辐射安全管理现状

依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《陕西省放射性污染防治条例》等法律、法规，医院应配合各级生态环境部门的监督和指导。医院目前在辐射安全和防护制度建立、辐射防护设施运行、维护、检测等方面运行较好，但在档案管理、辐射人员的体检、培训等方面的工作需加强落实。

①商洛市中心医院严格按照国家相关规定，成立了放射防护、辐射安全管理小组（商市医发〔2023〕22号），组长为唐红涛，副组长为张乾坤，文件明确了小组成员以及相关工作职责。领导小组下设办公室，办公室设在设备科，李叶兼职负责全院日常放射诊疗、辐射安全管理相关组织、协调、处理工作。

②医院已制定了较为完善的辐射安全管理制度，对射线装置的使用进行全面的监督管理。包括《商洛市中心医院辐射安全与防护管理制度》《商洛市中心医院放射防护告知制度》《商洛市中心医院放射工作人员岗位培训制度》《商洛市中心医院放射工作人员职业健康管理制度》《商洛市中心医院放射工作人员档案管理制度》《商洛市中心医院放射诊疗质量保证方案》《商洛市中心医院辐射事故应急预案》等规章制度，并严格按照规章制度执行。

③培训：医院现有辐射工作人员142人。从事Ⅱ类射线装置使用的辐射工作人员中，部分人员原培训证书已到期或未及时参加培训考核，其余人员取得有核技术利用辐射安全与防护考核合格成绩单。从事Ⅲ类射线装置使用活动的辐射工作人员均参加了医院组织的自主培训并考核合格，其中10人取得核技术利用辐射安全与防护考核合格成绩单。2名从事辐射安全管理的辐射工作人员参加核技术利用辐射安全与防护考核并取得合格成绩单。

针对辐射工作人员培训现状，对从事Ⅱ类射线装置使用活动的辐射工作人员中，培训证书已到期和未参加培训考核的人员，未经培训考核不得从事辐射工作。医院应及时组织参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的统一考核，并取得合格成绩单后方能上岗。

针对辐射工作人员培训现状，从事Ⅱ类射线装置使用活动的辐射工作人员，对培训证书即将到期、已到期、未参加培训考核的人员，医院安排于11月参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的统一考核，并取得合格成绩单；对从事辐射安全管理

的辐射工作人员，安排参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的统一考核，并取得合格成绩单。

④个剂：放射工作人员均配备了个人剂量计，定期送检，并建立了的个人剂量档案，根据医院提供的 2022 年 7 月~2023 年 6 月四个季度的个人剂量检测报告，在岗放射工作人员连续四个季度的累积剂量最大为 1.13mSv，均满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。

⑤体检：医院提供了 2022 年 9 月职业健康检查报告（报告编号：417YYZJ-2022-9-20）和 2023 年 3 月（报告编号：417YYZJ-2023-03-27）两次职业健康检查报告，和 4 名辐射工作人员的个人职业健康检查报告，以及接收原国际医学中心 11 名辐射工作人员的职业健康检查结果，建立了职业健康检查档案并存档。

根据职业健康检查报告，医院现有辐射工作人员均进行了职业健康检查，发现与职业健康监护技术相关的异常 7 例，均进行了复查，体检结果可以从事放射工作/可继续从事原放射工作。

⑥医院现有 1 台上海精博工贸有限公司生产的 JB4000 型环境监测用 X-γ 辐射空气比释动能率仪，用于医院 X 射线工作场所放射防护的自主检测。医院于 2023 年 8 月将其送至计量站（中国测试技术研究院）进行了检定，并取得检定证书将其存档。

⑦2023 年度医院委托陕西新高科辐射技术有限公司对医院 20 医用射线装置工作场所进行了放射防护检测（报告编号：FHJC-SXGK-092023002，FHJC-SXGK-092023003），检测结果汇总见表 1-5。

对辐射安全许可证许可的 26 台射线装置，其中 2 台移动 C 型臂和 1 台 G 型臂与已检测的 2 台 C 型臂共用相同手术室，未进行检测；1 台车载 CT 未进行放射工作场所检；2 台移动 DR 故障未进行检测，其余射线装置检测结果均符合相应标准要求。

表1-5 放射工作场所关注点最大X.γ辐射剂量率

序号	设备名称	规格型号	检测条件	关注点最大 X.γ辐射剂量率 (μSv/h)	标准限值 (μSv/h)
1	医用直线加速器	Elekta Synergy	10MV, 600cGy/min	0.163	T>1/2 取 2.5 T≤1/2 取 10
2	DSA机①	Discovery IGS 7	77kV, 15.9mA, 10s	0.71	2.5
3	DSA机②	Optima IGS 330	69kV, 15.4mA, 10s	0.65	2.5
4	CT机①	Optima CT660	120kV, 130mAs	0.90	2.5

5	CT机②	Revolution CT	120kV, 200mAs;	0.61	2.5
6	CT机③	Insitum 32	120kV, 200mAs	0.174	2.5
7	DR机①	CALYPSO;CHORUS	120kV, 100mA, 200ms	0.31	25
8	DR机②	DRX-Evolution plus	120kV, 100mA, 200ms	0.62	25
9	DR机③	Digieye 680E	120kV, 100mA, 200ms	0.42	25
10	DR机④	DRX-Evolution plus	120kV, AEC 管电流时间积 13.2mAs	0.288	25
11	移动DR①	MobiEye 700T	80kV, 100mA, 200ms	1.49	2.5
12	移动DR②	MobiEye 700T	100kV, 100mA, 200ms	0.133	2.5
13	数字胃肠机	SONIALVISION G4	104kV, 5.2mA, 10s	0.46	2.5
			120kV, AEC 管电流时间积 15.2mAs	3.6	25
14	小C臂机①	DG3310C1	120kV, 5mA, 10s	0.40	2.5
15	小C臂机②	ZEN-2090Pro	107kV, 2.9mA, 10s	0.221	2.5
16	乳腺机	Selenia Dimensions	28kV, AEC 管电流时间积 50mAs	0.136	2.5
17	全身骨密度仪	Prodigy Pro	76kV, 0.15mA, 6min	0.146	2.5
18	口腔CT机	Orthophos SL 3D	85kV, 7mA, 14.4s	0.14	2.5
19	牙片机	ERGON-XH F	70kV, 7mA, 150ms	0.131	2.5
20	DR机	新东方1000NC型	120kV, 100mA, 200ms	15.7	25

根据检测报告结果, 1) 2台 DSA 机在规定条件下, 机房的放射工作人员操作位、观察窗、人员门、门上观察窗、四周墙体外及机房楼下的环境辐射水平均符合 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中 6.3.1a) 条“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时, 周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h”的要求。

2) 4台 CT 机、1台乳腺机、1台全身骨密度仪、1台口腔 CT 机和 1台牙片机在规定条件下, 各机房的放射工作人员操作位、观察窗、人员门、及四周墙体外及机房楼上、楼下的环境辐射水平均符合 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中 6.3.1b) 条“机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h”的要求。

3) 2台小C臂机在规定条件下,机房的放射工作人员操作处、门上观察窗、人员门、污物门、四周墙体外及机房楼下的环境辐射水平均符合GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中6.3.1a)条“具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时,周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求;

4) 5台DR机在规定条件下,机房的放射工作人员操作处、观察窗、人员门、四周墙体外及机房楼上、楼下的环境辐射水平均符合GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中6.3.1c)条“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

5) 2台移动DR机在规定条件下,机房的放射工作人员操作处、人员门、观察窗、四周墙体外的环境辐射水平均符合GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中6.3.1c)条“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

6) 1台数字胃肠机在规定条件下,机房的放射工作人员操作位、观察窗、人员门、四周墙体外及机房楼上、楼下的环境辐射水平均符合GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》中6.3.1a)条“具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时,周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”、6.3.1c)条“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序(如DR、CR、屏片摄影)机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

7) 医用直线加速器在规定条件下,机房的放射工作人员操作位、人员门、四周墙体外及机房楼上的环境辐射水平均符合HJ1198-2021《放射治疗辐射安全与防护要求》中6.1.4a)第2)条“人员居留因子 $T>1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,\text{max}}\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ;人员居留因子 $T\leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,\text{max}}\leq 10\mu\text{Sv/h}$ ”和GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的要求。

⑧辐射事故应急管理:商洛市中心医院已依据相关法律法规的要求,制定了《商洛市中心医院辐射事故应急预案》,唐红涛任组长,以保证本单位一旦发生辐射事故时,即能迅速采取必要和有效的应急响应行为,妥善处理放射事故,保护工作人员和公众的健康和安全,同时在预案中明确规定了医院有关辐射事故处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容,能够满足医院实际辐射工作的需要。发生辐射事故时,应当立即启动本单位的辐射事故应急预案,采取必要防范措施,并及时向当地生态环境主管部门、卫生部门报告。

**表 2 放射源**

序号	核素名称	放射性活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

**表 3 非密封放射性物质**

序号	核素名称	理化性质	活动种类	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	贮存方式与地点
1	<sup>18</sup> F	液体，半衰期 109.8min 低毒	使用	3.7×10 <sup>9</sup>	3.7×10 <sup>6</sup>	9.25×10 <sup>11</sup>	PET/CT 显像检查	很简单的操作	核医学科	外购，当天用完，暂存于储源室
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。



表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	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、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1	Azurion 7 M20	125	1000	介入治疗	1号楼三层介入科DSA-3手术室	/
2	PET/CT	III类	1台	上海联影 uMI 550	140	420	显像诊断	核医学科 PET/CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括种子管，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（清洗废水、患者排泄物等）	液体	$^{18}\text{F}$	/	/	100m <sup>3</sup>	总 $\beta$ <10Bq/L	专用衰变池暂存	暂存时间需满 HJ1188-2021 要求（超过 30 天），监测达标后排入医院污水处理站
放射性固体废物（空药瓶、废注射器、吸水纸、棉棒、一次性卫生防护用品、清洁时用过的抹布及拖布等）	固体	$^{18}\text{F}$	/	/	130kg	/	放射性废物暂存间	分类收集，暂存时间需满 HJ1188-2021 要求（超过 30 天，经监测辐射剂量率为本底水平，总 $\beta$ 表面污染小于 0.8Bq/cm <sup>2</sup> 后，按一般医疗废物处理
废活性炭	固体	$^{18}\text{F}$	/	/	50kg	/	放射性废物暂存间	暂存时间需满 HJ1188-2021 要求，监测并达到清洁解控水平后，经监测辐射剂量率为本底水平，总 $\beta$ 表面污染小于 0.8Bq/cm <sup>2</sup> 后，按一般医疗废物处理
核医学科辐射工作场所活性区内含微量放射性核素的挥发气体	气体	$^{18}\text{F}$	/	可忽略	可忽略	微量	/	专用排风管道送至屋面，经活性炭吸附过滤后排放，排放口位于地面
非放射性废气	气体	臭氧、氮氧化物等	/	可忽略	可忽略	微量	/	专用排风管道送至楼顶排放

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m<sup>3</sup>；年排放总量用kg。

2.含油放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

**表 6 评价依据**

<p><b>法规 文件</b></p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（修订）》，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) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号修改，2017年10月1日；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第709号第二次修订，2019年3月2日；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（修订）》，生态环境部令第20号第四次修改，2021年1月4日；</p> <p>(8) 《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>(9) 《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，2017年12月6日；</p> <p>(10) 《放射性废物安全管理条例》国务院令第612号，自2012年3月1日起施行；</p> <p>(11) 关于发布《放射性废物分类》的公告，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告，2017年第65号，自2018年1月1日起施行；</p> <p>(12) 《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》国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日；</p> <p>(13) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，卫生部令第55号，2007年11月1日施行；</p> <p>(14) 《陕西省放射性污染防治条例（2019年修正）》，陕西省人大，2019年7月31日；</p> <p>(15) 陕西省环境保护厅关于印发新修订《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），2018年6月6日；</p>
-------------------------	--

	<p>(16) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(17) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行。</p>
<p><b>技术标准</b></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》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(3) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(4) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(6) 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）；</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(8) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(9) 《环境 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。</p>
<p><b>其他</b></p>	<p>与本项目相关附件：</p> <p>(1) 环境影响评价委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的设计图纸；</p> <p>(3) 建设单位提供的其他相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中关于评价范围的规定：“乙、丙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，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”。

根据上述要求并结合项目所涉及的工作场所布局和边界，结合项目实际选址，确定项目辐射环境影响评价的范围为射线装置机房防护屏蔽墙体外 50m，人员可能达到的区域，见图 7-1。

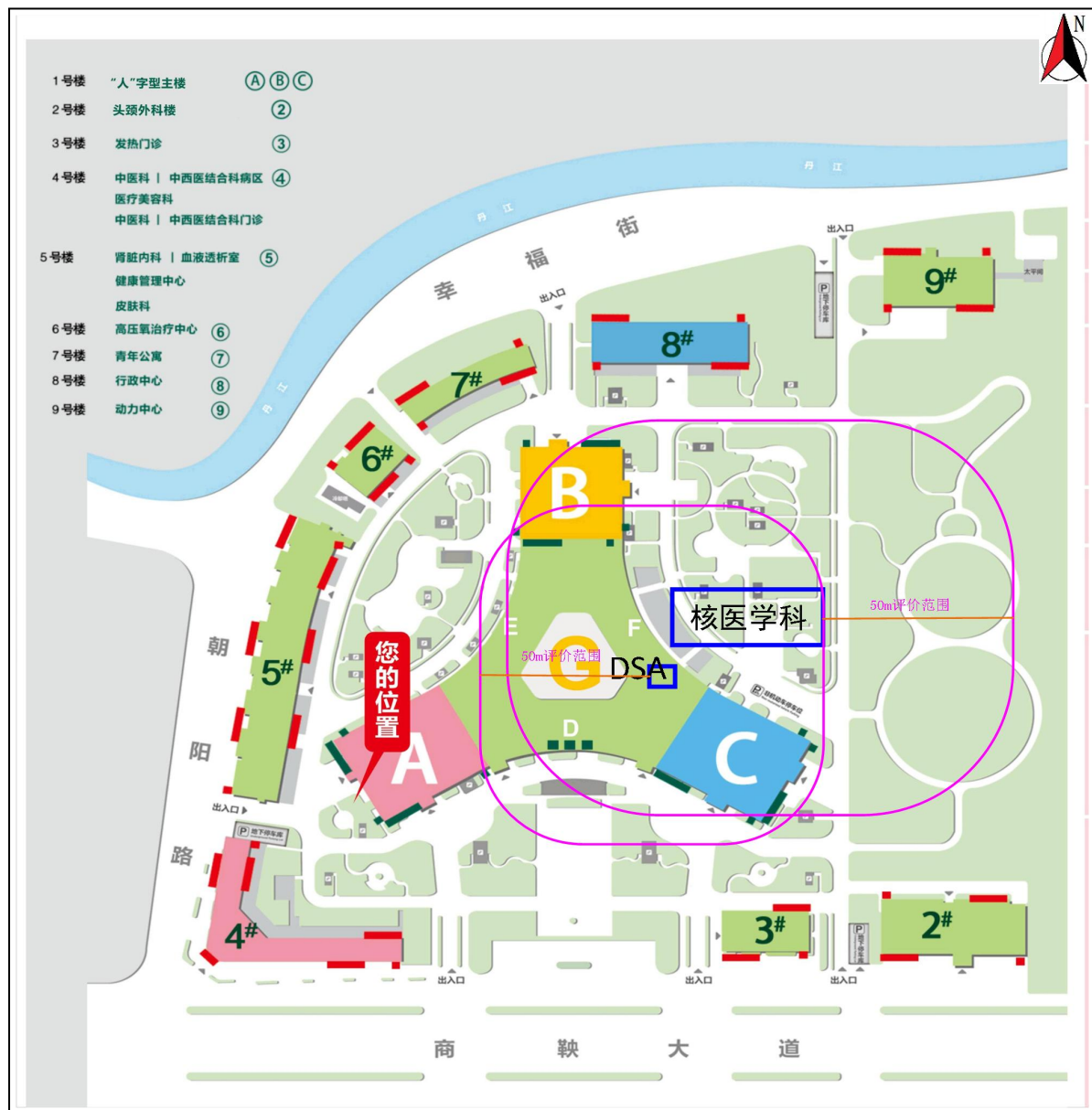


图7-1 项目环境影响评价范围示意图

## 保护目标

辐射环境影响主要为医院核技术利用项目使用场所（医院范围内），主要保护目标分为职业工作人员和公众人员，职业工作人员为核技术利用项目使用场所的放射工作医护人员，公众人员为评价范围内（射线装置机房实体屏蔽墙体外 50m 范围内）活动的其他非辐射医护人员及公众。项目主要环境保护目标见表 7-1。

表7-1 环境保护目标一览表

保护目标类别	相对位置		主要环境保护目标	人口规模	距屏蔽体距离	保护要求
职业人员	注射台		注射人员	1人	据药物一臂距离约0.5m	5mSv/a
	核医学科PET/CT机房		机房内显像诊断摆位人员	1人	距注射药物后诊断者1.0m	
	PET/CT操作间		设备操作间操作人员	1人	0.3m	
	核医学科工作场所		其他相关工作人员	2人	0.3m	
	DSA机房		手术医护人员	6人	距辐射源0.5m	
	DSA操作间		设备操作间操作人员	4人	0.3m	
公众	核医学科东侧	走廊	其他非辐射工作人员	约5人	0.3m	0.1mSv/a
	核医学科西侧	医生办公室	其他非辐射工作人员及公众	约10人	0.3m	
	核医学科北侧	放疗科	放疗科非辐射工作人员及公众	约30人	0.3m	
	核医学科南侧	库房	其他非辐射工作人员及公众	流动人员	0.3m	
	DSA机房东侧	DSA设备间	其他工作人员	约2人	0.3m	
	DSA机房西侧	DSA设备间	其他工作人员	约2人	0.3m	
	DSA机房南侧	患者走廊	其他工作人员及公众	约20人	0.3m	
	DSA机房楼下	影像检查候诊区	其他非辐射工作人员及公众	约10人	2.2m	
	DSA机房楼上	楼顶庭院	其他工作人员及公众	约3-5人	1.0m	
1号楼50m范围内		其他非辐射工作人员及公众	约500人	5m		

## 评价标准

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

#### ①职业照射

根据标准附录B1.1职业照射和B1.2公众照射，对人员受照剂量限值规定如下：

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。

#### ②公众照射

**B1.2.1 实践使公众有关关键人群组测成员所受的平均剂量估计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。

#### ③分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

#### 6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

#### ④表面放射性污染的控制

6.2.3 工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

第 B2 款表面污染控制水平

第 B2.1 款，工作场所的表面污染控制水平如表 7-2 所示。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm<sup>2</sup>

表面类型		β放射性物质
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、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-1</sup>

⑤非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作/Bq
甲	>4×10 <sup>9</sup>
乙	2×10 <sup>7</sup> ~4×10 <sup>9</sup>
丙	豁免活度值以上~2×10 <sup>7</sup>

⑥放射性物质向环境排放的控制

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，并应对每次排放作好记录：

a) 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，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得）；

b) 每一次排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.4.2 剂量限值与剂量约束值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。



#### 4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a。

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

#### 6.1 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于  $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、手套箱、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于  $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 外的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

#### 6.3 密闭和通风要求

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

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

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。.....以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

#### 7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于  $0.08\text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq/cm}^2$  的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期

的 10 倍；

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于 4Bq/cm<sup>2</sup>、其他 $\alpha$ 发射体应小于 0.4Bq/cm<sup>2</sup>。

### 7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

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

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

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

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

### 7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 $\alpha$ 不大于 1Bq/L、总 $\beta$ 不大于 10Bq/L、碘-

131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

#### 7.4 气态放射性废物的管理

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

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

### 8 辐射监测

#### 8.1 一般要求

8.1.1 开展核医学诊疗实践的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作，不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。

8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

#### 8.2 工作场所监测

8.2.1 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 7-4 的内容。

表7-4 核医学工作场所辐射监测关注点位

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

### 8.3 环境监测

开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于1次/年。

### 8.4 个人剂量监测

8.4.1 核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。

8.4.2 对于操作大量气态和挥发性放射性物质的工作人员，应根据场所的放射性气溶胶浓度开展内照射评价，当怀疑其体内受到放射性污染时，应进行体内放射性监测。

8.4.3 个人剂量档案应按要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。

## 3、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关内容

本标准适用于医疗机构开展核医学诊断、治疗、研究和放射性药物制备中使用放射性物质时的防护。

### 5 工作场所的放射防护要求

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；
- b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班

室和放置急救设施的区域等功能用房；

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；

## 5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

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 7-5，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G。

表7-5 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 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

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

## 附录 G 核医学工作场所分类

G.1 核医学工作场所分类见表 G.1（表 7-6）。

表7-6 核医学工作场所分类一览表

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

注：加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子。

G.2 核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2（表 7-7）。

表7-7 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	$^{75}\text{Se}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{90}\text{Y}$ 、 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{153}\text{Sm}$	100
B	$^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{67}\text{Ga}$ 、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 、 $^{111}\text{In}$ 、 $^{113}\text{In}^{\text{m}}$ 、 $^{123}\text{I}$ 、 $^{201}\text{Tl}$	1
C	$^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{81}\text{Kr}^{\text{m}}$ 、 $^{127}\text{Xe}$ 、 $^{133}\text{Xe}$	0.01

### 6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

#### 6.1.1 个人防护用品及去污用品

#### 6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。当使用的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5 mmPb，个人防护用品及去污用品具体配置见附录 K；对操作  $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$  等正电子放射性药物和  $^{131}\text{I}$  的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

#### 6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。防护手套箱的典型屏蔽厚度参见附录 I。

### 6.2 放射性药物操作的放射防护要求

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。

6.2.5 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 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 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，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 GBZ128 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。

## 8 医用放射性废物的放射防护管理要求

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。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

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： $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

附录 K（规范性附录）个人防护用品和应急及去污用品

#### K.1 个人防护用品

表7-8 个人防护用品

场所类型	工作人	
	必备	选备
正电子放射性药物和 $^{131}\text{I}$ 的场所	放射性污染防护服	—

注：“—”表示不需要要求，宜使用非铅防护用品。

#### K.2 应急及去污用品

主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

#### 4、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

《医疗机构水污染物排放标准》中相关条款规定见表 7-8。

表7-9 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
23	总 $\beta$ /（Bq/L）	10	10

#### 5、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。

#### 6 X 射线设备机房防护设施的技术要求



## 6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式 X 射线机.....。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-10 的规定。

表7-10 X射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积（m <sup>2</sup> ）	机房内最小单边长度（m）
CT机（不含头颅移动CT）	30	4.5
单管头X射线设备 （含C形臂、乳腺CBCT）	20	3.5

注：单管头、双管头多管头X射线机每个管球各安装在1个房间内。

## 6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不小于表 7-11 规定。

表7-11 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 （mmPb）	非有用线束方向铅当量 （mmPb）
CT机房（不含头颅移动CT） CT模拟定位机房	2.5	2.5
C形臂X射线设备机房	2.0	2.0

6.2.4 距 X 射线设备表面 100cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h 时且 X 射线设备表面与机房墙体距离不小于 100cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

## 6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

#### 6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 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受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 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。

6.4.8 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。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

#### 6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-12 要求的工作人员、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橡胶防护衣。

表7-12 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护用品
CT体层扫描 (隔室)	—	—	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—

介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
注：“—”表示不需要。				

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25 mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2 mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备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小于 0.5 mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

## 6、小结

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等标准及医院制定的个人剂量管理目标值，取 5mSv/a 作为放射工作人员的年有效剂量管理目标，取 0.1mSv/a 作为公众成员年有效剂量管理目标值。

综上所述，确定本项目的评价标准见表 7-13 所示。

表7-13 本项目剂量限值及其他控制指标一览表

剂量要求		执行依据
执行对象	将HJ1188-2021规定的剂量约束值作为年有效剂量管理目标（mSv/a）	HJ1188-2021
放射工作人员	5	
公众	0.1	
屏蔽体表面剂量率控制值		执行依据
核医学工作场所控制区的用房边界	距核医学工作场所控制区内各房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。	GBZ120-2020 HJ1188-2021
DSA手术室	透视条件下机房屏蔽体外表面30cm处周围剂量当量率不大于2.5μSv/h； 采集条件下机房屏蔽体外表面30cm处周围剂量当量率不大于25μSv/h。	GBZ130-2020

机房使用面积、单边长度控制			执行依据
设备名称	机房内最小有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	机房内最小单边长度 (m)	GBZ130-2020
PET/CT	30	4.5	
DSA	20	3.5	
放射性废物排放			执行依据
放射性固体废物	每袋废物(重量≤20kg) 的表面辐射剂量率0.1mSv/h		GBZ120-2020 HJ1188-2021
	废物包装盒外表面: $\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$ , $\alpha < 0.08\text{Bq/cm}^2$ .		
	所含核素 <sup>18</sup> F半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天		HJ1188-2021
表面污染	表面类型		$\beta$ (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、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-1</sup>	
放射性废水	总 $\beta$ 放射性<10Bq/L		GB18466-2005
	所含核素 <sup>18</sup> F半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放		HJ1188-2021
核医学通风要求			执行依据
手套箱	手套箱应有专用的排风排风系统, 风速应不小于0.5m/s。		GBZ120-2020
排气口	排气口应高于本建筑屋顶并安装过滤装置。		
通风系统	(1) 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统, 合理组织工作场所的气流, 对排出工作场所的气体进行过滤净化, 避免污染工作场所和环境。 (2) 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性, 及时更换失效的过滤器, 重换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。		HJ1188-2021
DSA手术室通风要求			执行依据
DSA手术室	机房应设置动力通风装置, 并保持良好的通风。		GBZ130-2020

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 环境质量和辐射现状

#### 1.项目地理和场所位置

商洛市中心医院新址位于商洛市商州区商鞅大道 37 号，东侧为上上洛丹江小镇，南侧为商鞅大道，西侧为丹鹤绿洲小区，北侧为丹江。

医院地理位置图见图 1-1，四邻关系图见图 1-2，医院总平面布置情况见图 1-3。

根据医院提供的资料，核医学科位于 1 号楼地下一层东侧，核医学科正上方为地面绿化，北侧为放疗科，南侧为库房。核医学科平面布局图见图 1-4。

本项目 DSA 机房位于 1 号楼三层 DSA-3 室，东西两侧为 DSA 设备机房；南侧为患者走廊，北侧为医生操作台，楼下为影像检查候诊厅，楼上为楼顶庭院。DSA 机房所在 1 号楼三层介入科局部平面布局图见图 1-5，DSA 机房楼下局部平面布局图见图 1-6，DSA 机房楼上局部平面布局图见图 1-7。

#### 2.项目所在地环境现状评价

##### (1) 监测方案

2023 年 7 月医院委托陕西经纬科技发展有限责任公司对本项目所在地周围环境进行了  $\gamma$  辐射剂量率的监测；2024 年 1 月医院委托陕西经纬科技发展有限责任公司对本项目核医学科 PET/CT 相关场所进行了  $\beta$  表面污染监测。

监测方案详见表 8-1。

表8-1 环境质量现状监测方案

监测因子	监测点位	监测方法
$\gamma$ 辐射剂量率、 $\beta$ 表面污染	PET/CT 工作场所、DSA 工作场所	《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；《表面污染测定第 1 部分： $\beta$ 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 $\alpha$ 发射体》（GB/T14056.1-2008）

##### (2) 监测使用仪器

表8-2 项目检测仪器情况表

名称/型号	量程	检定单位	证书编号	检定有效期
环境监测 X- $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率仪/JB4000	0.01 $\mu\text{Gy/h}$ ~600 $\mu\text{Gy/h}$	中国计量科学研究院	DLjl2023-04073	2024 年 3 月 26 日
便携式 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染监测仪	0.1cps~99999cps	中国计量科学研究院	DLhd2023-01075	2024 年 3 月 16 日

(3) 质量保证

①严格按照《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》、《表面污染测定第1部分： $\beta$ 发射体（ $E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$ ）和 $\alpha$ 发射体》进行监测；②检测仪器每年定期经有资质的计量部门检定、校准，检定合格后方可使用；③每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；④检测人员持证上岗；⑤监测结果经三级审核，保证监测数据的准确。

(4) 监测点位

辐射环境质量现状监测点位布设情况详见图 8-1、图 8-2 和图 8-3。

(5) 项目辐射环境质量现状监测结果

表8-3  $\gamma$  辐射剂量率 现状监测结果

点位编号	监测点位描述	$\gamma$ 辐射剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）
1	DSA-3机房中心	0.104
2	DSA-3机房西北侧设备间	0.095
3	DSA-3机房西南侧走廊	0.082
4	DSA-3机房东南侧设备间	0.098
5	DSA-3机房东北侧操作间	0.096
6	DSA-3机房楼上庭院	0.063
7	DSA-3机房楼下候诊大厅	0.113
8	三层大厅	0.070
9	PET/CT机房中心	0.109
10	PET/CT房北侧走廊	0.085
11	PET/CT机房东侧休息室	0.088
12	PET/CT机房南侧操作间	0.099
13	PET/CT机房西侧检前区	0.091
14	PET/CT机房楼上地面花园	0.064
15	地下一层核医学科大厅	0.087
16	一层大厅	0.069
17	医院正门入口	0.047

注：监测结果扣除仪器对宇宙射线响应值。

结论：

商洛市中心医院放射诊断设备机房核技术利用建设项目辐射环境质量现状监测测值范围是：0.047~0.113 $\mu\text{Gy/h}$ ，即“47~113nGy/h”。

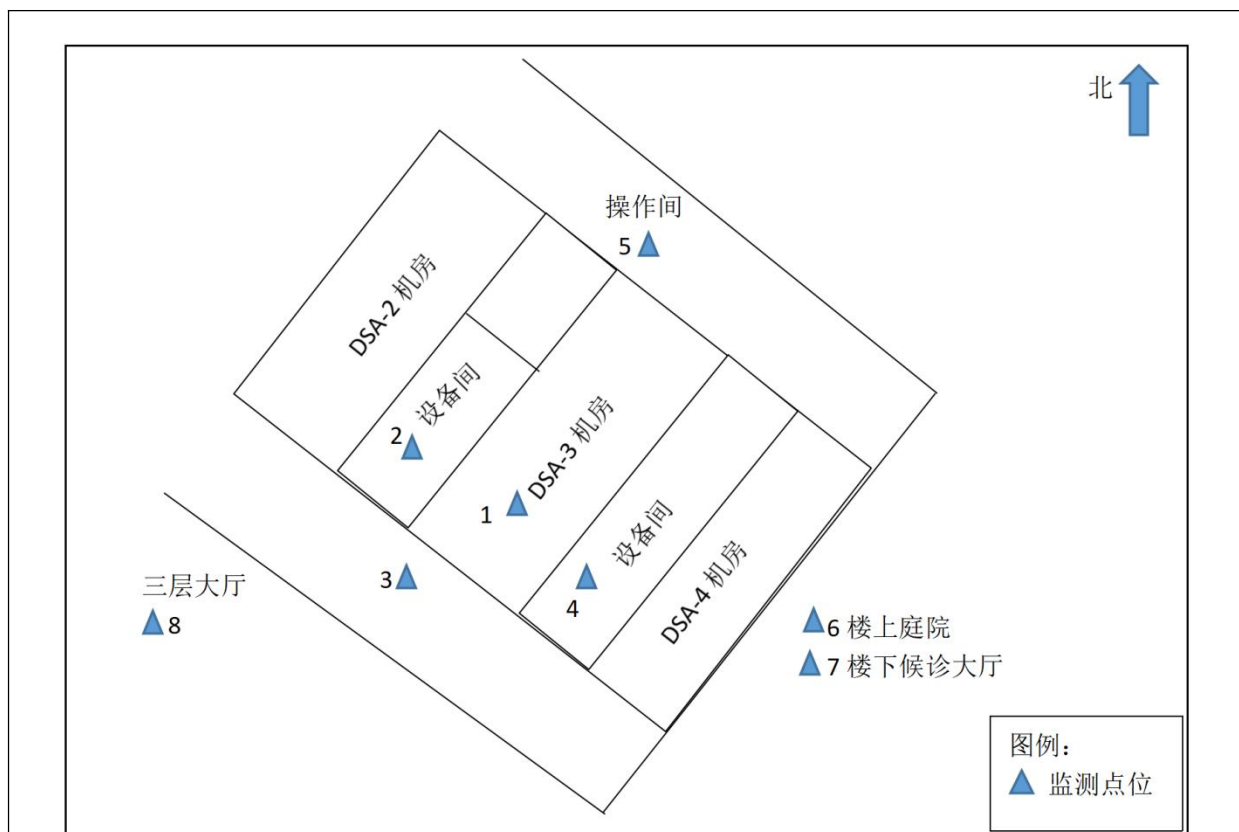


图8-1 DSA机房  $\gamma$  辐射剂量率监测点位布置图

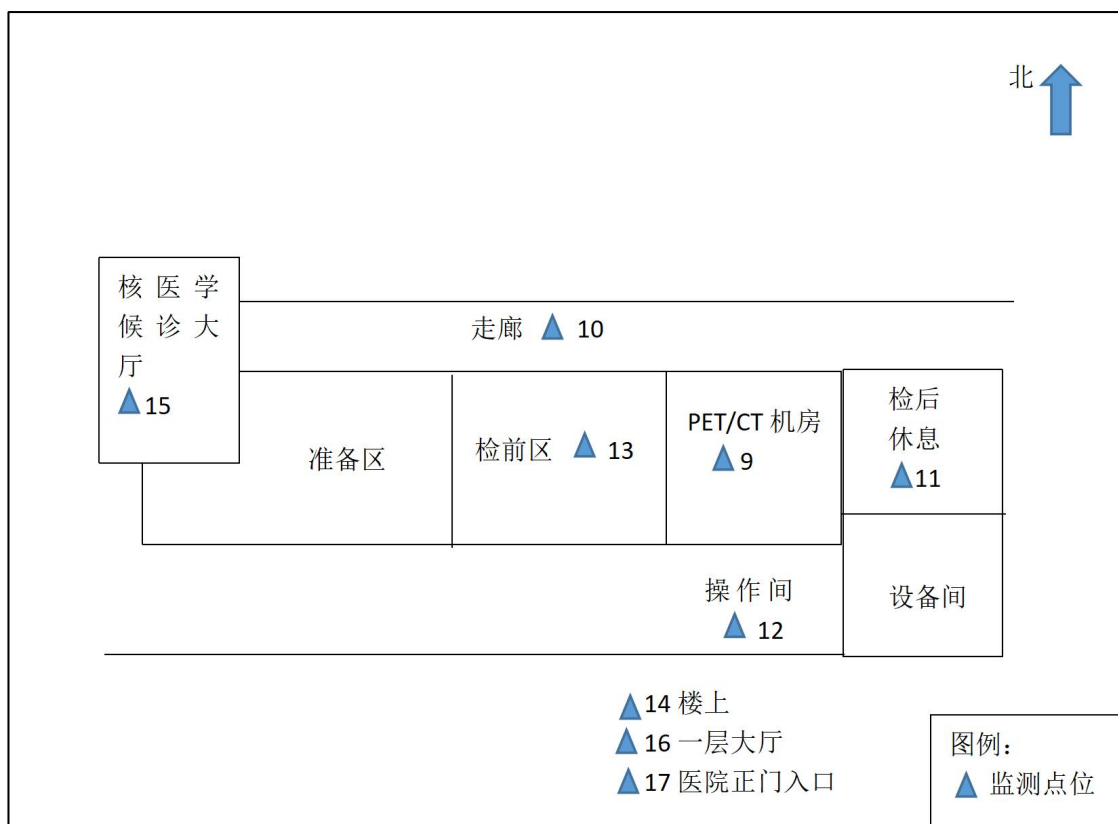


图8-2 PET/CT机房  $\gamma$  辐射剂量率点位布置图

表8-4 β 表面污染 现状监测结果

点位编号	监测点位描述	β 表面污染 (Bq/cm <sup>2</sup> )
1	核医学科候诊大厅地面	0.35
2	患者走廊地面	0.36
3	检前区地面 (注射室)	0.36
4	准备区地面 (储源室)	0.36
5	PET/CT机房地面	0.38
6	检后区地面 (休息室)	0.38
7	操作间地面	0.36
8	污洗间地面	0.38

注：本结果仅对本次监测有效。

结论：

商洛市中心医院PET/CT核技术利用建设项目β表面污染现状监测测值范围是：0.35~0.38Bq/cm<sup>2</sup>。

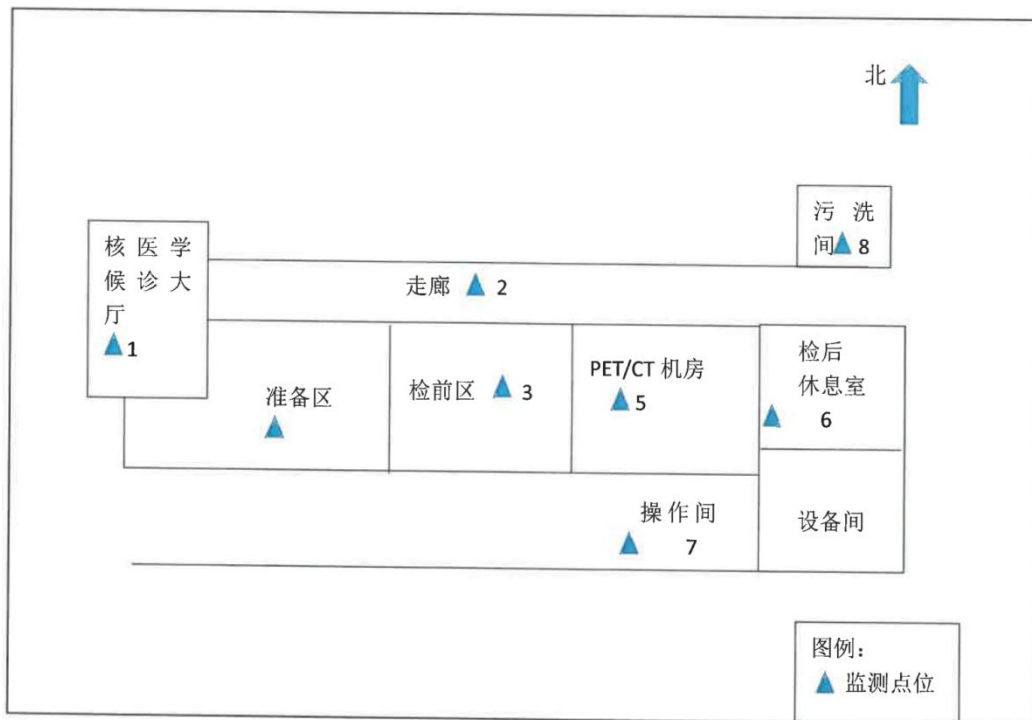


图8-3 PET/CT工作场所β表面污染监测点位布置图

由监测结果可知，商洛市中心医院本次项目辐射工作场所γ辐射环境质量现状监测测值范围为0.047~0.113nGy/h，即47~113nGy/h，与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015年）中“商洛市γ辐射剂量率调查结果（原野：25~150，道路：32~156，室内：75~169nGy/h）”，基本处于同一水平，项目所在区域γ辐射环境现状质量良好。PET/CT工作场所β表面污染水平现状监测结果为0.35~0.38Bq/cm<sup>2</sup>。



表 9 项目工程分析与源项

## 工程设备和工艺分析

### 1.PET/CT

#### 1.1 设备组成及工作原理

PET 显像的基本原理是利用体内正电子放射核素发射出的正电子与负电子结合发生湮灭辐射，发射出一对能量相等（511keV）、方向相反的 $\gamma$ 光子，见图 9-1。

PET 探头系统由环形的数百个探测器构成，晶体材料常采用锗酸铋或碘化钠。呈相反方向（180°）排列的两个探头探测 $\gamma$ 光子， $\gamma$ 光子与晶体作用下，形成 1 个电脉冲，脉冲高度分析器选择能量符合 511keV 的电脉冲送入电子学线路，电子学线路把呈相反方向并在 5~15ns 内发生的两个电脉冲信号送入显像系统，生成 PET 显像。

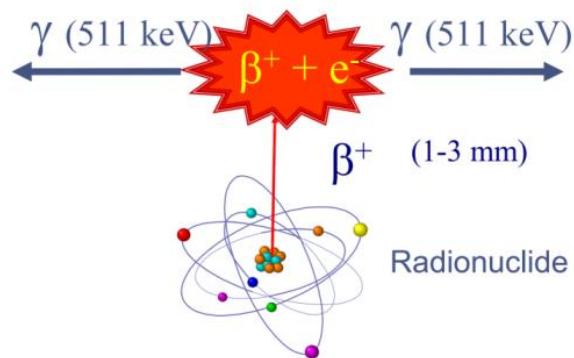


图 9-1 正电子湮灭

PET/CT 是把核医学显像和现代医学影像学成像结合在一起，达到取长补短的目的。PET 显像是反映组织或脏器代谢或功能变化的功能显像，可以通过图像观察分子水平的代谢和功能变化，这些变化早于形态和结构的变化，可用于肿瘤的早期诊断、寻找原发灶及转移灶、判断心肌存活等，但图像的空间分辨和质量较差。CT 等现代医学影像学成像具有空间分辨率高、解剖结构和脏器轮廓清楚、图像质量好，但反映功能和代谢变化差，确定占位性病变的性质比较困难。利用图像融合技术，把核医学显像和现代医学影像学成像相重叠，所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置图像，一次检查可快速了解全身的整体状况，便于病灶的准确确定性和精确定位。

典型 PET/CT 见图 9-2。



图 9-2 典型 PET/CT 实物图

### 1.2 放射性药物<sup>18</sup>F用药量情况

PET/CT 使用放射性核素 <sup>18</sup>F 进行显像诊断，<sup>18</sup>F 半衰期 109.8min，半衰期很短，医院根据与患者预约情况提前向供药单位订购药物，供药单位在约定时间内将药物运输至医院核医学科。患者在核医学科窗口预约后，凭预约单在核医学科注射窗口注射药物，患者注射后在 PET/CT 检查前休息室等待，待一定时间后，进入 PET/CT 机房进行扫描。根据医院计划，PET/CT 使用放射性核素 <sup>18</sup>F 进行显像诊断，每天最多检查 10 人次，每人最大药物注射量 10mCi。

PET/CT 拟使用放射性核素相关情况见表 9-1。

表9-1 PET/CT拟使用放射性核素相关情况一览表

核素	形态	半衰期	衰变方式	单人核素最大用量 (Bq)	日最大接诊人数	日最大注射操作量 (Bq/d)	年最大操作量 (Bq)	用途
<sup>18</sup> F	液体	109.8min	EC、β <sup>+</sup>	3.7×10 <sup>8</sup> (10mCi)	10 人	3.7×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>11</sup>	PET/CT 显像诊断

### 1.3 工作流程及产污环节

项目 PET/CT 放射诊断工作流程：

采用正电子药物全自动分装仪完成<sup>18</sup>F的药物分装、稀释、活度测量等全过程。正电子药物全自动分装仪主要由核素分装仪、中心控制系统、活度计通信和打印机四部分组成。正电子药物全自动分装仪安装在药物准备间的分装热室内。医院根据患者预约情况向核素供应商预定<sup>18</sup>F放射性药物，然后由核素供应商当天用专车运抵医院。核素供应商的专业技术人员通过泵吸将铅罐中的<sup>18</sup>F注入自动分装仪中，医生利用放置在外部的笔记本控制电脑，输入相关患者信息后，能够将<sup>18</sup>F进行稀释处理、定量分配、在

线活度测量和样品体积配比的全部工作，并按指定活度或体积分别装至注射器内，满足每个患者所需要的单支剂量活度。同时避免了医生在药物分装过程中受到不必要的剂量照射，同时也保证了药物分装的准确度。当分装结束后，系统自动将分装信息存入数据库，便于操作者调阅或查询，并选择打印分装结果的标签，用于患者注射时的查对。注射器存放在注射器转运盒内运至注射室使用。

典型的正电子药物全自动分装仪见图9-3，典型的分装热室见图9-4。

PET/CT检查操作流程见图9-5。



图 9-3 典型的正电子药物全自动分装仪



图9-4 典型的分装热室



图 9-5 PET/CT 显像检查流程图

(1)  $^{18}\text{F}$  药物根据病人用量，提前一天向有资质的核素供应商定量购买，由厂家送至核医学科，并将  $^{18}\text{F}$  注入正电子药物全自动分装仪中。根据临床诊断需药量，提前

一天向供药单位订购所需放射性药物。

(2) 受检者按约定时间在核医学科候诊区进行登记、准备。

(3) 医生根据患者相关信息，通过正电子药物全自动分装仪获取相应活度的  $^{18}\text{F}$  药物，并分装至注射器内，而后通过药物传递窗进入注射窗口备用。

(4) 准备好的受检者经过核医学科患者通道进入注射窗口，注射工作人员穿戴好个人防护用品从注射器转运盒内取用相应患者的标记药物，通过注射窗口为受检者注射药物，注射时间平均约1min/每人。

(5) 本项目设有 5 间注射后休息室，每名患者注射药物后根据提示进入相应的注射后休息室等候（30min~60min），进行检查前的准备。每间注射后休息室允许 1 人休息等候。

(6) 通过语音提示，患者进入 PET/CT 机房接受显像扫描，工作人员配合受检患者摆好位后进入操作间进行隔室操作。

(7) 扫描完成后，无不良反应患者由控制区出口离开核医学科辐射场所活性区，有不良反应患者在检查后休息室留观。

PET/CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9-6。

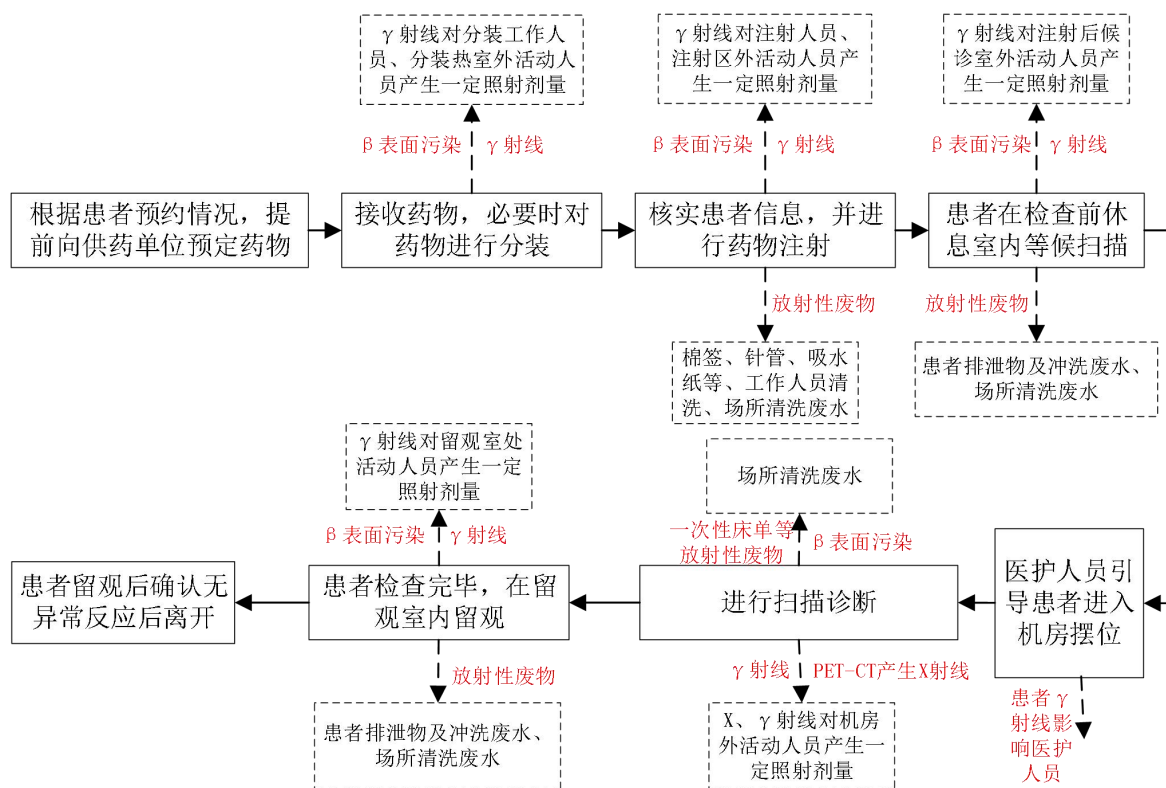


图 9-6 PET/CT 放射诊断工作流程及产污环节示意图

PET/CT 放射诊断过程的污染因子主要是：

(1)  $^{18}\text{F}$  放射性药物为注射针剂，放射性药物衰变产生 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线对工作人员在注射过程和对受检者进行检查时产生一定照射，同时产生 $\beta$ 表面污染；

(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，所以会产生用过的注射针管、棉签、吸水纸、一次性手套等放射性固体废物。

(4) 注射放射性药物受检者产生的排泄物和擦洗台面的废水都属于放射性废水。

## 2.数字减影血管造影 X 射线机 (DSA)

### 2.1 设备组成及工作原理

数字减影血管造影 X 射线机的 X 射线由球管产生。设备由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由阴极和阳极组成。阴极通常是装在聚焦杯中的钨灯丝，阳极靶则根据应用的需要，由不同的材料制成各种形状，一般用高原子序数的难熔金属制成。当灯丝通电加热时，电子则从阴极逸出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。这些高速电子到达靶面被靶所阻挡，导致韧致辐射产生 X 射线。管电压越高，电子流速度亦随之增高，产生 X 射线的能量也越高。

介入治疗是在放射诊断设备（数字减影血管造影 X 射线机等设备）的指导下，通过微小的创口将特定的器械导入人体病变部位进行治疗的一种治疗手段，主要用于心血管、肿瘤等的介入手术，核技术利用开展前必须先进行医疗照射正当性的判断。

数字减影血管造影 X 射线机 (DSA) 运行原理见图 9-7，数字减影血管造影 X 射线机 (DSA) 设备见图 9-8。

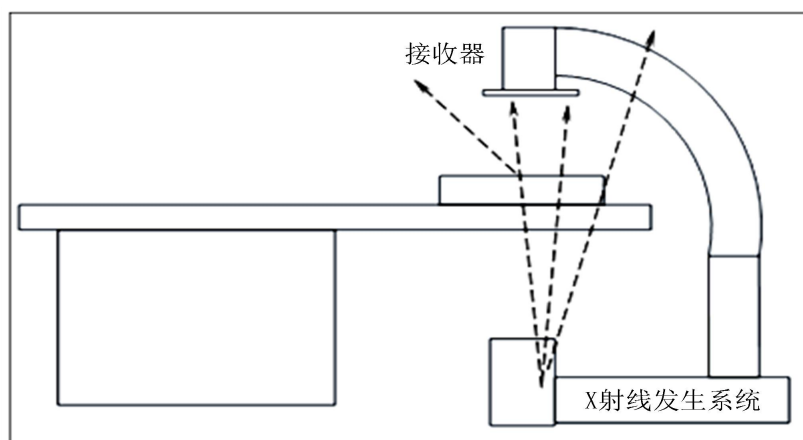


图9-7 数字减影血管造影X射线机 (DSA) 运行原理示意图



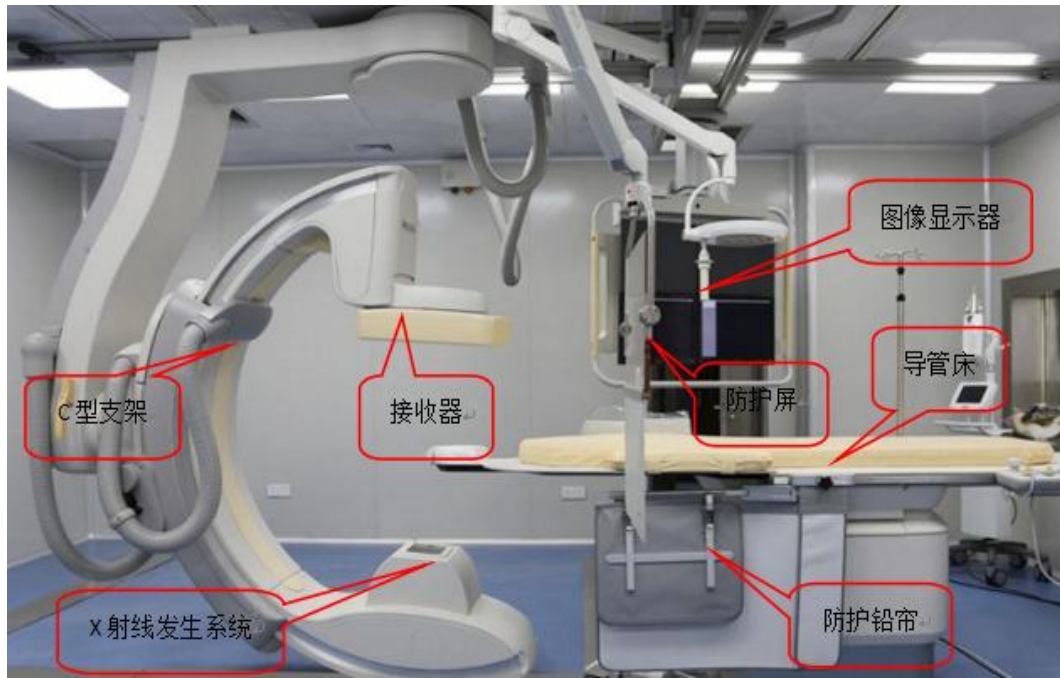


图9-8 数字减影血管造影X射线机（DSA）设备示意图

## 2.2 工作流程

数字减影血管造影设备（DSA）在进行曝光时分 DSA 诊断和介入治疗两种情况。

①诊断：DSA 诊断采用隔室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员调整 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入操作间，关好防护门。医师、操作人员通过操作间的电子计算机系统控制 DSA 的 X 系统曝光，采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

②介入治疗：DSA 介入治疗采用近合同室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，对患者的部位进行间隙式透视。具体方法是受检者位于手术床上，介入手术医师位于手术床旁，距 DSA 的 X 线管 0.5~1.0m 处，在非主射束方向，配备个人防护用品（如铅衣、铅围脖、铅眼镜、铅手套等），同时手术床旁设有屏蔽挂帘和移动式防护帘。介入治疗中，医师、护士佩戴防护用品，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视（DSA 的 X 线系统连续发射 X 射线），通过悬挂显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。每台手术 DSA 系统的 X 线系统进行透视的次数及每次透视时间因患者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术结束后关机，病人离开介入室。

### 2.3 正常工况主要放射性污染物和污染途径

数字减影血管造影 X 射线机属于射线装置，仅在通电状态对周围环境产生放射性污染，主要污染物是 X 射线、臭氧和氮氧化物。X 射线使机房内手术工作人员受到照射，穿透机房屏蔽体使控制室工作人员及机房外公众受到照射。造影时注入的造影剂不含放射性，不会产生放射性废物。射线装置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。

数字减影血管造影 X 射线机（DSA）污染物与污染途径见图 9-9。

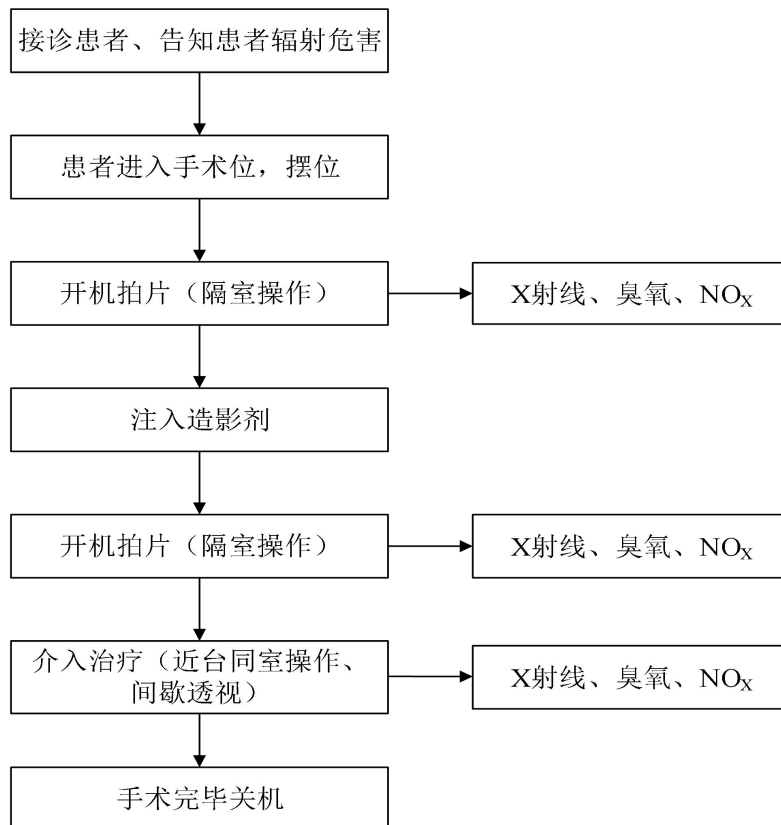


图9-9 数字减影血管造影X射线机（DSA）污染物与污染途径示意图

### 污染源项描述

#### 1.核医学科PET/CT

PET/CT 使用的放射性药物为  $^{18}\text{F}$ ， $^{18}\text{F}$  衰变模式为 EC 和  $\beta^+$ ，其中  $\beta^+$  粒子在体内经湮灭产生两个方向相反的  $\gamma$  光子，同时放射性药物  $^{18}\text{F}$  在使用过程可能产生  $\beta$  表面污染，CT 扫描时会产生 X 射线。此外，项目正常运行期间还会产生一定量的放射性“三废”及臭氧、氮氧化物等非放射性废气。

**(1) 项目核医学科正常运行状态下可能产生的污染途径如下：**

**①γ射线：**由于γ射线具有较强的穿透性，放射性药物会对对其周围环境和工作人员会产生一定辐射影响；经注射进入患者体内后，患者本身短时间内成为“辐射体”，在衰变过程产生的γ射线造成患者周围辐射水平升高；患者在候诊、显像诊断、留观过程中，短期内对近距离接触的人员造成影响，部分γ射线穿透候诊室、诊断机房、留观室的实体屏蔽对屏蔽体外活动人员产生一定辐射影响，污染途径为γ射线外照射。

**②X射线：**PET/CT 开机扫描时 CT 产生的 X 射线。X 射线穿透机房的实体屏蔽造成机房周围环境辐射水平升高，人员在此区域活动时受到一定的照射剂量影响，污染途径为 X 射线外照射。

**③β表面污染：**放射性药物  $^{18}\text{F}$  为液体药物，可能造成工作场所的β表面污染；患者注射放射性药物  $^{18}\text{F}$  后，其分泌汗液、排泄物等可能造成候诊、诊断工作场所的β表面污染。

**④放射性废水：**核医学科辐射工作场所产生的放射性废水（含  $^{18}\text{F}$ ）主要为工作人员清洗受污染衣服、手部及工作场所时可能带有微量放射性的废水和患者的排泄物等。

1) PET/CT 显像诊断每天接诊患者约 10 人，参考《节水型卫生洁具》（GB/T31436-2015），节水型坐便器平均用水量应不大于 5L，患者洗手用水量按 1L·次计，按照患者注射后候诊及诊断后留观共如厕 2 次计算，则显像检查患者用水量为 12L/人·次，本次保守按全部排放计算；

2) 本项目参与放射性药物的操作人员 1 人（注射），参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）表 3.2.2，门诊医务人员用水量平均为 60~80L/d，本次核素操作人员用水量保守按 80L/人·d 计；

3) 洗涤医用器皿、清洗工作台面及受污染衣服等也会产生一定量的放射性废水，特别是放射性物质发生滴漏、撒泼事故的去污过程会产生较多的废水。项目每天洗涤（工作人员清洁受污染衣服及工作场所等）预计产生 0.2m<sup>3</sup> 放射性废水。

核医学科的放射性废水产生量见下表。

**表9-2 核医学科放射性废水排放情况表**

用水类别		用水定额	用水规模	废水量		去向
				m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /a	
核医学科	放射工作人员	80L/人·d	1 人	0.08	20	衰变池



工作场所	显像检查患者	12L/人·次	10人	0.12	30
	清洁用水	0.2m <sup>3</sup> /d	/	0.2	50
合计				0.4	100

综上，项目运营期间产生含放射性废水量约为 0.4m<sup>3</sup>/d（100m<sup>3</sup>/a），衰变池设于室共三组，每组有效容积 64m<sup>3</sup>，每个池体存满需要 160 天，第三组衰变池进水时，第一组衰变池废水监测达标即排放，排放则排放时放射性废水最短衰变时间为 160 天，超过 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求后，再排入医院总污水处理站进一步处理。

运行期产生的一般医疗废水、生活污水进入医院总污水处理系统进行处理，最终经市政污水管网进入城市污水处理厂。

⑤**废气：**核医学科使用放射性核素过程中，会产生微量的含 <sup>18</sup>F 等核素的废气，放射性废气采取高效活性炭过滤防护装置处理后，经专用管道引至屋面排放，排放口高出所在建筑屋面。

#### ⑥**固体废物：**

##### 1) 放射性固废

项目产生的放射性固废主要为与放射性核素接触过的废注射器、消毒棉签、注射台上的吸水纸、一次性口罩、乳胶手套、擦拭纸巾等；工作场所清洁时用过的抹布及拖布；吸附放射性废气产生的废活性炭。

项目核医学科日接诊人数约 10 人，医疗废物按人均每天 0.05kg 计，则医疗废物每天产生量约为 0.5kg，全年产生量约为 125kg；清洁时用过的抹布及拖布产生量约为 5kg/a。放射性废物分类收集在内置专用塑料袋的污物桶（污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志）内，塑料袋装满后密封并及时运送至废物暂存间内专用容器中。排风系统的活性炭预计每年更换一次，每次填装量为 50kg，则废活性炭产生量为 50kg/a。

##### 2) 非放射性固废

核医学科检前候诊大厅、检前监督区工作人员办公室等产生的非放射性医疗垃圾和生活垃圾，医疗垃圾运至医院的医疗垃圾暂存间暂存，定期交由有资质的单位处理，一般生活垃圾交由环卫部门处理。

#### (2) **事故工况下污染途径：**

①对放射性药物管理不善，造成放射性药物丢失或被盗；

②对注射放射性药物的患者管理不善，患者随意走动短期内对近距离接触人员造成辐射影响；患者排泄物、呕吐物等处理不当造成工作场所表面污染；

③给患者注射时，操作不当将药物滴洒在台面、地面或其他地方，将造成放射性表面污染；

④对放射性废物管理不善，对社会和环境会造成一定影响；

⑤核医学科防护门控制失灵或安全联锁装置故障，人员误入核医学科辐射工作场所活性区或正在运行的机房内而受到辐射影响；

⑥管理不善，无关人员在射线装置开机时进入机房或开机时未离开机房，从而受到不必要的较大剂量辐射照射。

## 2.数字减影血管造影 X 射线机（DSA）

（1）数字减影血管造影 X 射线机正常运行情况下，工作人员和公众可能受到的污染源项如下：

① 数字减影血管造影设备（DSA）开机时发出 X 射线，X 射线贯穿手术室的屏蔽墙进入外环境，对控制室内职业工作人员及手术室周围公众产生外照射影响；在介入手术过程中，对手术室内医护人员造成较高剂量的外照射。

② X 射线与空气作用会产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，由于项目射线装置的管电压、管电流较小，产生的有害气体相对较少，通过在手术室内安装动力通风装置，可满足手术室通风换气要求。

③ 项目注入的造影剂不含放射性，采用先进的数字显影技术，无废显影液和定影液产生。

④ 项目采用先进的数字显影技术，不会产生废胶片。介入手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医疗废物，采用专用容器集中收集，就地打包，经污物通道转运至污物暂存间，最终委托有资质单位处置。

（2）事故工况下污染途径：

① DSA 发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽将照射参数设置错误，使受检者或职业人员受到超剂量照射。

② 与诊疗无关的人员在防护门关闭后未撤离手术室，射线装置开始运行，对其造成额外误照射。

③ 医护人员在手术室内为患者摆位或进行其它术前准备工作时，控制台处操作人员误开机出束，对手术室内医生造成误照射。

④ 介入治疗时，医生未穿戴防护用品进入手术室，或未配置合格的防护用品，使医生受到较高剂量的附加照射。

⑤ 安全警示装置发生故障，医护人员误入正在运行的手术室造成额外照射。

## 表 10 辐射安全与防护

### 项目安全设施

#### 1.核医学科

##### 1、项目工作场所布局合理性

核医学科位于 1 号楼东侧地下一层，主要包括：核医学科候诊大厅、患者走廊、更衣室、卫生间、储源室、分装热室、放射性废物室、质检室、运动负荷试验/肺通气/抢救室、PET/CT 注射室、PET/CT 检查前休息室、PET/CT 检查室、PET/CT 检查后休息室、PET/CT 设备间、PET/CT 操作间等；以及其他核素功能用房，包括磷敷贴室、甲功检查室、肾功检查室、SPECT/CT 注射室、SPECT/CT 卫生间、SPECT/CT 扫描前休息区、SPECT/CT 检查室、SPECT/CT 操作间、SPECT/CT 检查后休息室等。

结合医院当前医疗规划，目前仅开展 PET/CT 和放射性药物  $^{18}\text{F}$  的使用。医院拟在 PET/CT 机房内安装使用 1 台 PET/CT（属于 III 类射线装置），使用非密封放射性物质  $^{18}\text{F}$  开展 PET/CT 显像诊断。

医护人员入口位于核医学科西侧候诊大厅的南侧，患者入口位于候诊大厅东侧，患者出口位于核医学科东北角，本项目工作人员通道和患者通道分开设置，减少了注射药物后患者对其他人员的照射。患者注射药物前后的通道均为单向通道，且设置有单向门禁，设置有注射后患者专用候诊室，严格限制注射后患者的活动区域，不会出现注射前患者与注射后患者交叉情况。放射性药物运入通道、放射性废弃物运出通道、与注射后患者通道虽重合，但是本项目采取严格限制运输时间的方式，即每天上班前核素供应商将订购的药物沿患者通道运至核医学科，上班期间 8:00~18:00 为患者专用通道，下班后 19:00 沿患者通道运出放射性废物，以此确保患者、放射性药物、放射性废物通道不交叉。

核医学科工作场所布局合理性分析见表 10-1。

表10-1 核医学科工作场所平面布局合理性分析

法规标准	标准要求	平面布局情况	评价
《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)	5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	本项目核医学科核医学科位于 1 号楼地下一层东侧，仅为门诊诊断，不设置住院治疗场所；控制区集中设置在南侧，储源室、药物准备室、注射室、质检室相邻，与扫描机房、注射后等候区、留观室分开设置，保证工作实施沿着各功能房间单向开展，避免人员交叉辐射。	符合要求

	5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	通过采取时间和空间管控措施，放射性药物、工作人员、患者、放射性废物路线相对独立；患者通道与工作人员通道分离，注射后患者与注射前患者通道不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。	符合要求
	5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	项目控制区的入口和出口设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员免受不必要的照射；本项目控制区入口设置工作人员卫浴和更衣间 PET/CT 设有检查前休息室和专用卫生间和检查后卫生间。	符合要求
《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）	5.1.2c) 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。	本项目核医学科控制区的入口和出口设计有门锁权限控制和单向门禁系统等安全措施。	符合要求
	5.1.2d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。	本项目分装热室、注射室出口出口设置工作人员卫浴和更衣橱，并设有计量设备可进行表面污染检测。	符合要求
	5.1.3a) 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	核医学工作场所设计有给药前候诊大厅、储源室、分装热室、注射室、质检室、给药后检查前候诊室、抢救室、PET/CT 机房、操作间、检查后休息室、卫生间、放射性废物室等功能用房。	符合要求
	5.1.3c) 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。	核医学科设计有护士站、办公室、更衣室、卫浴间、抢救室、等辅助用房。	符合要求
	5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。	核医学工作场所的设计布局有助于开展工作，避免无关人员通过。本项目不涉及治疗工作场所。	符合要求

综上所述，核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关要求。

## 2、项目工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），辐射工作场所应分为控制区及监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中4.3.2的要求：“核医学工作场所的控制区主要包括……、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域”。4.3.3的要求“核医学工作场所的监督区主要包括……和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域”。

根据GB18871-2002及HJ1188-2021，将**放射源入口、储源室、药物准备室、放射性废弃物室、质检室、注射室、运动负荷/抢救室、PET/CT检查前休息室及卫生间、患者检查通道、PET/CT机房、检查后休息室、检查后卫生间、污洗间以及核医学科放射性废水衰变池**等划分为控制区。控制区边界采辐射防护实体屏蔽，在控制区出入口分别设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限值患者的随意流动，保证工作场所内的工作人员免受不必要的照射。与控制区相邻的其他区域（包括控制区正上方）划分为监督区，不需要采取专门的防护手段，但要定期检查其辐射水平，对职业照射条件进行监督和评价。

核医学科涉及的**磷敷贴室、甲功检查室、肾功检查室、SPECT/CT卫生间、SPECT/CT扫描前休息区、SPECT/CT检查室、SPECT/CT检查后休息室用房**等暂不开展工作，其处于核医学科控制区门禁内部，也应作为控制区进行管理。

核医学科工作场所分区管理示意图详见图10-1。

放射性药物、人员、放射性废物流向示意图见图10-2。

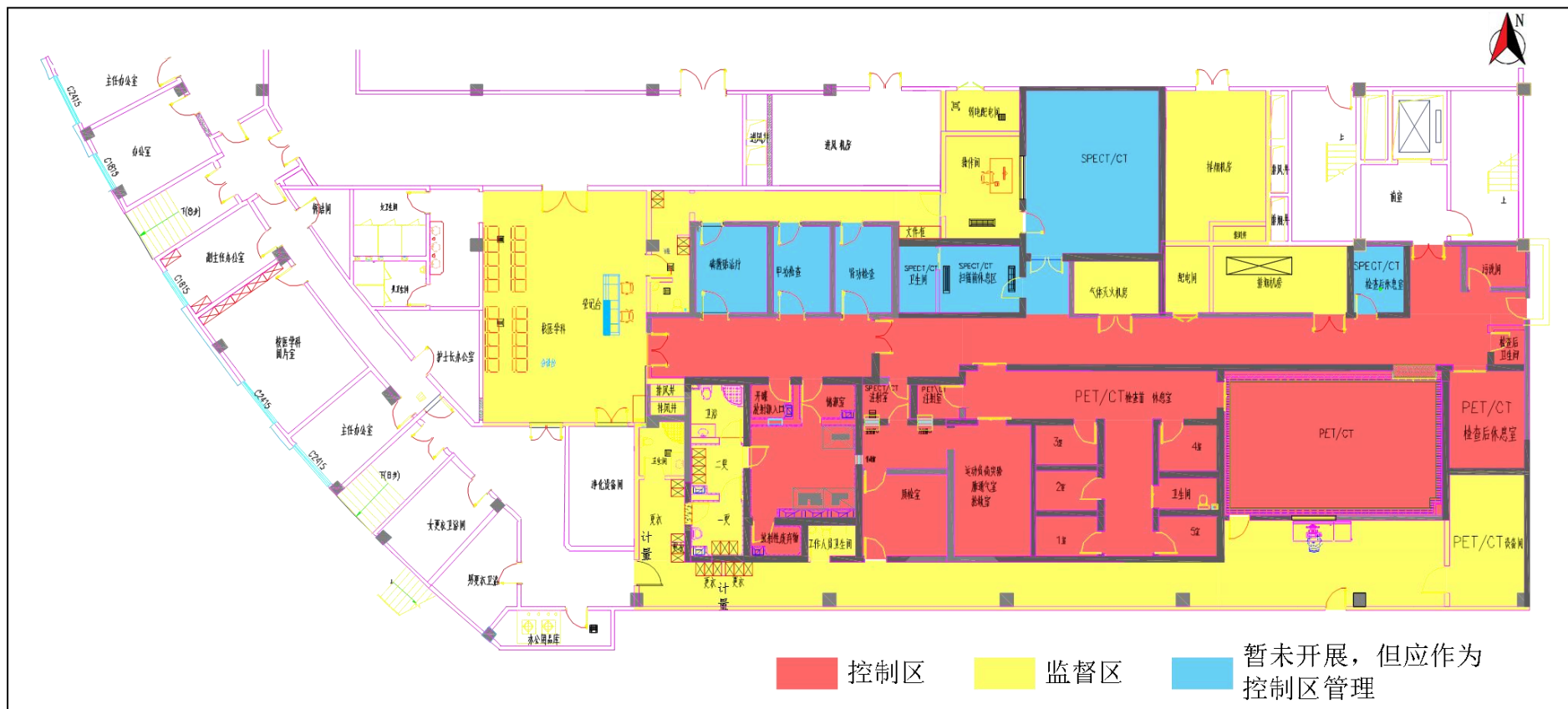


图10-1 核医学科分区管理示意图

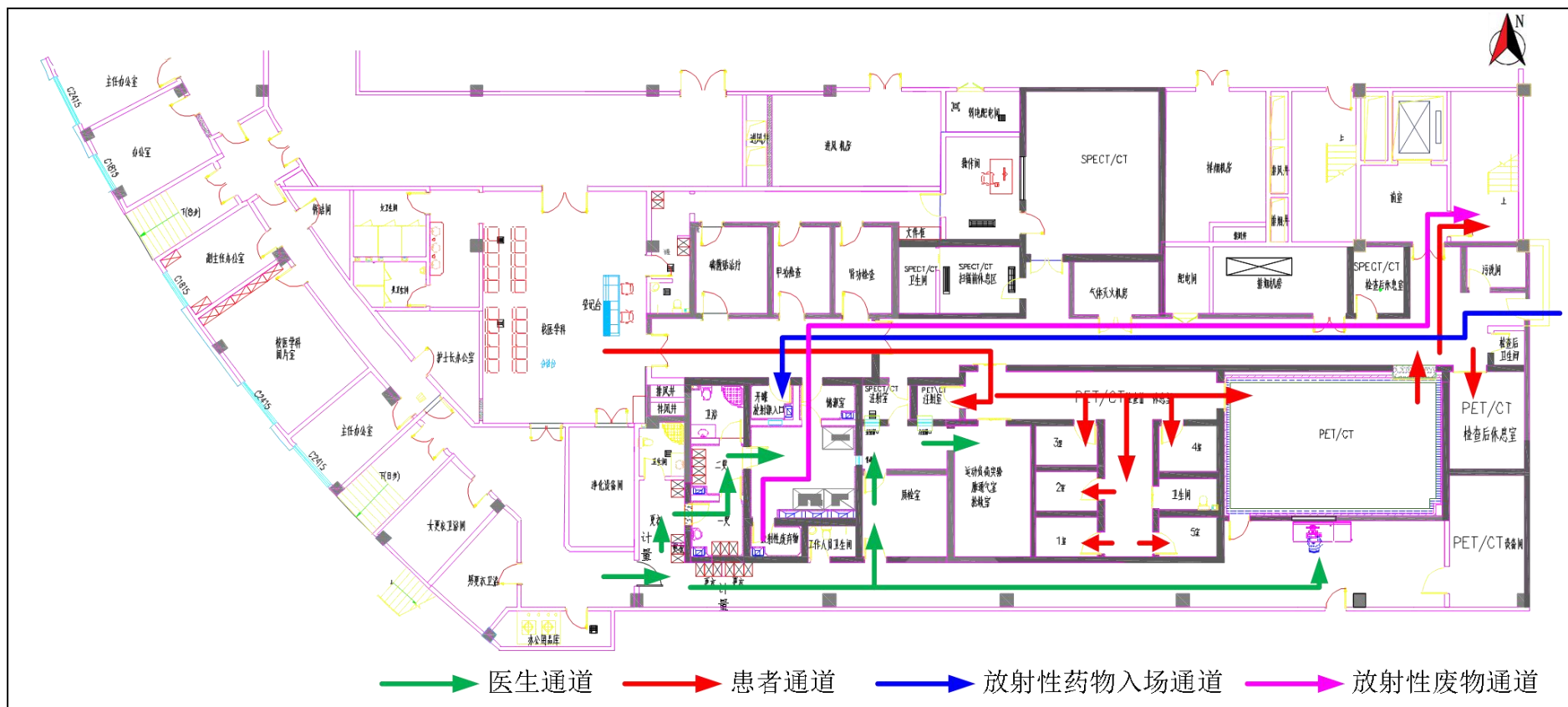


图10-2 核医学科放射性药物、人员、放射性废物流向示意图



### 3、室内表面及装备结构设计防护

本项目工作场所采取的室内设计与《核医学放射防护要求》（GB120-2020）要求的对照见表 10-2。

表10-2 本项目各工作场所内表面及装备结构设计防护与标准对照表

场所	本项目设计	GB120-2020 要求	分类	是否符合
PETCT/CT机房 储源室 药物准备室 放射性废弃物室 注射室 质检室 抢救室 检查前休息室 PET/CT机房 检查后休息室	<b>地面：</b> PVC 地板胶铺设，墙角线采用铝合金接缝处无缝隙； <b>表面：</b> 乳胶漆； <b>手套箱：</b> 分装热室； <b>室内排风：</b> 废气独立机械排风系统； <b>管道：</b> 独立通风管道，所有管线、管道安装，放射性废水收集管外包铅皮； <b>清洗及去污设备：</b> 标识了各区域清洗的专用拖把及拖把池，控制区废水排入衰变池。	<b>结构屏蔽：</b> 需要 <b>地面：</b> 与墙壁接缝无缝隙 <b>表面：</b> 易清洗 <b>分装柜：</b> 需要 <b>通风：</b> 好通风 <b>管道：</b> 普通管道 <b>盥洗与去污：</b> 洗手盆和去污设备	II	是

### 4、核医学科 PET/CT 工作场所各功能用房屏蔽措施

本项目辐射工作场所的相关墙体、顶板、地板以及观察窗、防护门的设计均采取了辐射屏蔽。根据医院提供的施工图纸可知，本项目各功能用房的辐射防护措施如下：

表10-3 各功能用房的辐射防护措施一览表

功能用房名称	屏蔽体	辐射防护情况
卫生通过间（卫浴、更衣）、放射源入口处、储源室、药物准备室、放射性废弃物室	墙体	300mm钢筋混凝土
	贴地传递箱	5mmPb
	放射性废弃物室防护门	6mmPb
	传递窗	10mmPb
	防护门	5mmPb
质检室	墙体	300mm钢筋混凝土
	防护门	5mmPb
PET/CT注射室	墙体	300mm钢筋混凝土
	注射窗	20mmPb
	防护门	8mmPb
抢救室	墙体	东墙：250mm钢筋混凝土 南、西、北墙300mm钢筋混凝土
	防护门	东墙：250mm钢筋混凝土 南、西、北墙300mm钢筋混凝土

PET/CT检查通道	墙体	300mm钢筋混凝土
	防护门	6mmPb
PET/CT检查前休息室（1室~5室）、检查前卫生间	墙体	1室、2室、3室西墙：250mm钢筋混凝土 其余墙体：300mm钢筋混凝土
	防护门	10mmPb
PET/CT机房	墙体	东、西、北墙：300mm钢筋混凝土+2mm厚防护铅板 南墙：250mm钢筋混凝土+2mm厚防护铅板
	顶棚	300mm钢筋混凝土+2mm厚防护铅板
	防护门	患者进出防护门×2：5mmPb；医生进出防护门：8mmPb
	观察窗	10mmPb铅窗
PET/CT检查后卫生间、污洗间	墙体	300mm钢筋混凝土
	防护门	5mmPb

## 5、辐射安全与防护措施

(1) 控制区的入口应设置电离辐射警告标志及控制区标志，并标明控制区的范围；在监督区入口处设立监督区的标志。在该项目各相关放射工作室如放射源入口处、储源室、药物准备室、放射性废弃物室、质检室、抢救室、注射室、患者通道各防护门处、检查前休息室、PET/CT 机房、检查后休息室等工作区域均拟设置电离辐射警示标志。

(2) 患者进、出控制区处均设计门锁权限控制和单向门禁等安全措施，控制无关人员进入核医学科工作场所、限制给药后病人随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。

(3) PET/CT 机房的患者进出防护门采取电动推拉门（均设置红外线光幕防夹感应装置和曝光时关闭机房门的管理措施，2套），工作人员进出防护门采取平开门（防护门顶部设置自动闭门装置，1套），各屏蔽门外均设置电离辐射警告标志。患者防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，工作状态指示灯能与机房门有效关联，灯箱上设置可视警示语句。

(4) 核医学科候诊大厅（分诊台）和患者通道设置叫号系统；患者通道和相关功能用房设置视频监控系统；在 PET/CT 机房与操作台之间设置观察窗；在注射窗口、患者通道、注射后候诊室等处设置病人导向标识或导向提示。

(5) 核医学科工作人员进出口设卫生通过间（即卫浴、更衣室）并设置剂量监测

装置)，为工作人员提供必要的放射性污染防护服等防护用品，去污清洁用品，冲洗设施和表面污染监测设备。

核医学科辐射安全设施安装位置示意图见图 10-3。

(6) 核医学科各工作场所设置动力排风系统和专用通风管道，排风口安装高效活性炭吸附过滤装置，且经专用管道引至楼外排放，管道内设置止回阀，防止气体回流；放射性药物操作拟在手套箱内进行，手套箱顶壁安装活性炭或其他过滤装置，手套箱通风速率应不小于 0.5m/s。

(7) 患者注射药物后均在检查室前休息室候诊，不得随意走动，检查前休息室设有患者专卫，废水经专用管道收集排至衰变池进行处理。

(8) 在卫生通过间、质检室等场所设置工作人员专用洗手台盆和专用卫生间，在检查前卫生间、检查后卫生间设置受检者洗手盆和专用卫生间，其中洗手盆水龙头应采取脚踩式或感应式，患者专用卫生间的便池设为感应式节水马桶。上述所有放射性废水均排入相应衰变池。

(9) 核医学科工作场所控制区设置专门污洗间，污洗间拖把仅用于核医学科工作场所控制区，不可与其他区域清洁拖把混用。

(10) 核医学科地面或墙壁设置通俗易懂的导向标识或导向提示，或通过对讲、导向标识等形式引导患者，限制其流动方向。

(11) 工作场所表面污染防治：

①涉及放射性药物操作的工作区域采用易清洗且不易渗透材料（如 PVC 板等），拐角使用弧线处理。地面平整光滑，易于清洗，铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆。

②墙面平整光滑，1 米以下部位采用易于清洗的涂料，瓷质面砖等。

③工作台面要求平整、光滑、易于清洗。

④墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处以及工作台边沿宜采取弧形设计以尽可能减少表面污染。

⑤放射性药物注射时，放射性药物应放在搪瓷盘内，搪瓷盘下部放置吸水纸，防止放射性药物撒漏。

⑥除注外其余涉及放射性药物的所有操作均在手套箱内进行，手套箱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

(12) 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，确认未受放射性污染，方可离开，进入非放射性工作场所。

(13) 受检者根据预约按时来院，在注射窗接受注射药物，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。

(14) 根据国家标准要求，机房内应为受检者配备铅当量不小于 0.5mmPb 的铅橡胶性腺防护围脖（方形）或方巾、铅当量不小于 0.25mmPb 的铅橡胶颈套、0.25mmPb 的铅橡胶帽子等个人防护用品，以避免病人受到不必要的照射。

(15) 核医学科应设置放射性药品管理人员，具体负责放射性药品交接手续的办理。当送药单位将放射性药品运至核医学科内，核医学科放射性药品管理人员核对预定的放射性药品数量、活度，进行入库登记。医院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。

(16) 在药物准备室、放射性废弃物室、质检室、抢救室、注射室、检查前休息室及卫生间、检查后休息室及卫生间等位置放置污物桶，污物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。废物桶表面应有电离辐射警示标志。应使用有脚踏式开关的废物收集桶。

(17) 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。专用塑料袋装满后应密封，不破漏，及时转送废物暂存间，放入专用容器中存储。

(18) 应在存放废物的专用容器的显著位置设置废物类型、核素种类、存放日期等说明。放射性废物含  $^{18}\text{F}$  核素，暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控按医疗废物进行处理。

(19) 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。

需配备个人防护用品及监测仪器见表 10-4，工作场所防护用品见表 10-5。

表10-4 PET/CT诊断需配备的个人防护用品和监测仪器

序号	名称	数量	使用场所
1	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染监测仪	1台	核医学科场所
2	X- $\gamma$ 剂量率检测仪	1台	核医学科场所
3	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾（铅当量0.5mmPb）、铅橡胶颈套（成人铅当量0.25mmPb、儿童铅当量0.5mmPb）、铅橡胶帽子（成人铅当量0.25mmPb、儿童铅当量0.5mmPb）	2套	PETCT/CT机房（成人一套、儿童一套）
4	放射性污染防护服（铅当量0.25mmPb）	2套	PET核素操作人员
5	个人剂量计	5个	每名辐射工作人员1个

表10-5 核医学科工作场所防护用品

防护用品名称	配置计划	数量
储源铅罐	40mmPb 当量	1 个
分装热室	$^{18}\text{F}$ 采取自动分装。在药物准备室配置1台分装热室内置正电子药物全自动分装仪。整体防护铅当量>50mmPb。	1套
PET手套箱	40mmPb, 设置于药物准备室	1个
转运注射箱	20mmPb 当量, 存储、转运注射器	1 个
$^{18}\text{F}$ 注射器屏蔽套	15mmPb	2个
传递窗	10mmPb	1套
PET 注射窗	20mmPb	1 套
铅污物桶	10mmPb, 置于分装室、放射性废弃物室、质检室、抢救室、注射室、患者走廊、检查前休息室卫生间、检查后休息室卫生间等。	8个
放射性污染防护服、铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶围裙	0.5mmPb	2套
应急及去污用品	配备一次性防水手套、气溶胶防护口罩、放射性污染防治服、胶鞋、去污剂和/或喷雾；小刷子、一次性吸水纸、不同大小的塑料袋、酒精湿巾等。	按需提供

## 6、通风措施

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）6.3 密闭和通风的要求，核医学区域设计排风管道系统，设置 9 条排风管线，排风管道布局如图 10-3。

①核医学科候诊大厅前卫生间、工作人员通道前卫生间、工作人员卫生间设一路排风管道；

②核医学科卫生间①和卫生间②、SPECT/CT 扫描前卫生间、配电间、PET/CT 检查前卫生间、检查后卫生间、污洗间设一路排风管道；

③核医学科药物准备室入口处卫浴更衣室设有单独一路排风管道；

④放射源入口处、储源室、放射性废弃物室设有单独一路排风管道；

⑤药物准备室内的两个分装热室和钼锝发生-淋洗柜设一路排风管道；

⑥磷敷贴治疗室、甲功检查室、肾功检查室、注射室、SPECT/CT 检查后休息室设一路排风管道；

⑦质检室、运动负荷/抢救室、PET/CT 检查前休息室（1室~5室）设一路排风管道；

⑧PET/CT 机房、PET/CT 设备间、PET/CT 检查后休息室设一路排风管道；

⑨气体灭火间、SPECT/CT 机房设一路排风管道。

本项目核医学科控制区采取独立的排风系统，并根据各功能区的活性高低分别设置排风管道及高效活性炭过滤防护装置，不违背核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。主管道均拟布设于吊顶上方，然后通过支管连接至各个工作区域用房，管道节点处拟设置调节阀门，防止放射性废气倒灌，主管道在吊顶上方至风井后，沿风井向上至屋面，经活性炭过滤后排至大气。

排风系统的活性炭预计每年更换一次，拟将废活性炭暂存于放射性废物间，待放射性废物自行衰变 30 天后后，经审管部门监测达到《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“ $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ”要求后作为一般医疗废物处理。



图10-3 核医学科辐射安全设施安装位置示意图





## 2.数字减影血管造影X射线机DSA

### 1、项目工作场所布局和分区

本项目 DSA 机房位于 1 号楼三层介入科 DSA-3 室，东侧为 DSA 设备机房，西侧为 DSA 设备机房和无菌间，南侧为患者走廊，北侧为操作间，机房楼上为楼顶庭院，楼下为影像检查候诊厅。DSA 机房平面布局合理性分析见表 10-6。

表10-6 DSA机房平面布局合理性分析

法规标准	条目	标准要求	设计情况	评价
《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020)	6.1.1	应合理设置X射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	有用线束避开直射门、窗、管线口位置和工作人员操作位。	符合要求
	6.1.3	每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。	DSA设置单独的机房，机房满足使用设备的布局要求。	符合要求
	6.1.5	单管头X射线设备（含C型臂），其最小有效使用面积20m <sup>2</sup> 、最小单边长度3.5m。	DSA-3机房有效使用面积约为44m <sup>2</sup> ，最小单边长度5.75m，长7.7m。	符合要求

DSA 工作场所分区管理示意图详见图 10-5~图 10-7。

### 2、DSA机房辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的机房设计资料，DSA 机房的屏蔽防护措施见表 10-7。

表10-7 DSA机房的屏蔽防护参数

机房	项目	尺寸/防护厚度/建设情况	等效铅当量	GB130-2020 标准要求	评价
DSA-3 机房	机房有效使用面积	44m <sup>2</sup> ，长 7.7m×宽 5.75m，层高 4.8m	/	30m <sup>2</sup>	满足
	最小单边长	5.75m	/	4.5m	满足
	屏蔽墙体	200mm 加气块隔墙+3.0mmPb 高纯度硫酸钡防护涂料	3mmPb	2mmPb	满足
	顶部	150mm 混凝土层（1.87mmPb）+2mmPb 的铅板防护	3.87mmPb	2mmPb	满足
	地板	150mm 混凝土层（1.87mmPb）2.0mmPb 高纯度硫酸钡防护砂浆	3.87mmPb	2mmPb	满足
	防护门窗	4mmPb	4mmPb	2mmPb	满足

注：①铅密度：11.3g/cm<sup>3</sup>；砖密度：1.65g/cm<sup>3</sup>；混凝土密度：2.35g/cm<sup>3</sup>。引自：《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 表 C.1。

②不考虑加气块隔墙的防护铅当量。

③根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 公式 C.1 和 C.2，混凝土的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 取自附录 C 表 C.2，计算得在管电压 125kV（主束）下，150mm 混凝土等效铅当量 1.87mmPb。

DSA 机房的有效使用面积和最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“机房内最小有效使用面积 20m<sup>2</sup>，机房内最小单边长度 3.5m”的要求。四周墙体的等效铅当量为 3.0mmPb；顶棚和地板防护的等效铅当量为 3.87mmPb；防护门窗的铅当量均为 4.0mmPb，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“介入 X 射线设备机房有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm”的要求。

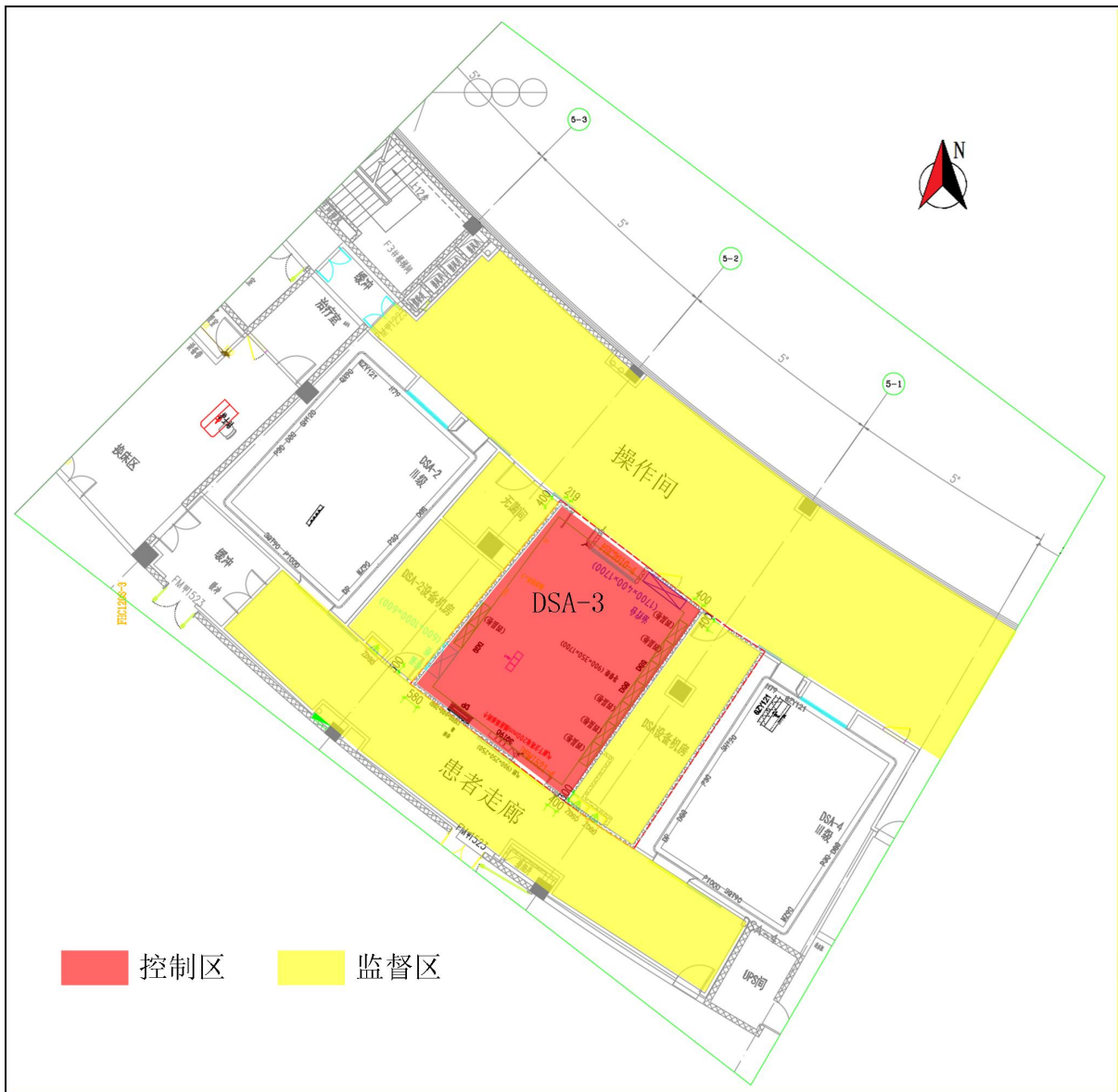


图10-5 DSA机房分区管理示意图（三层介入科平面图）

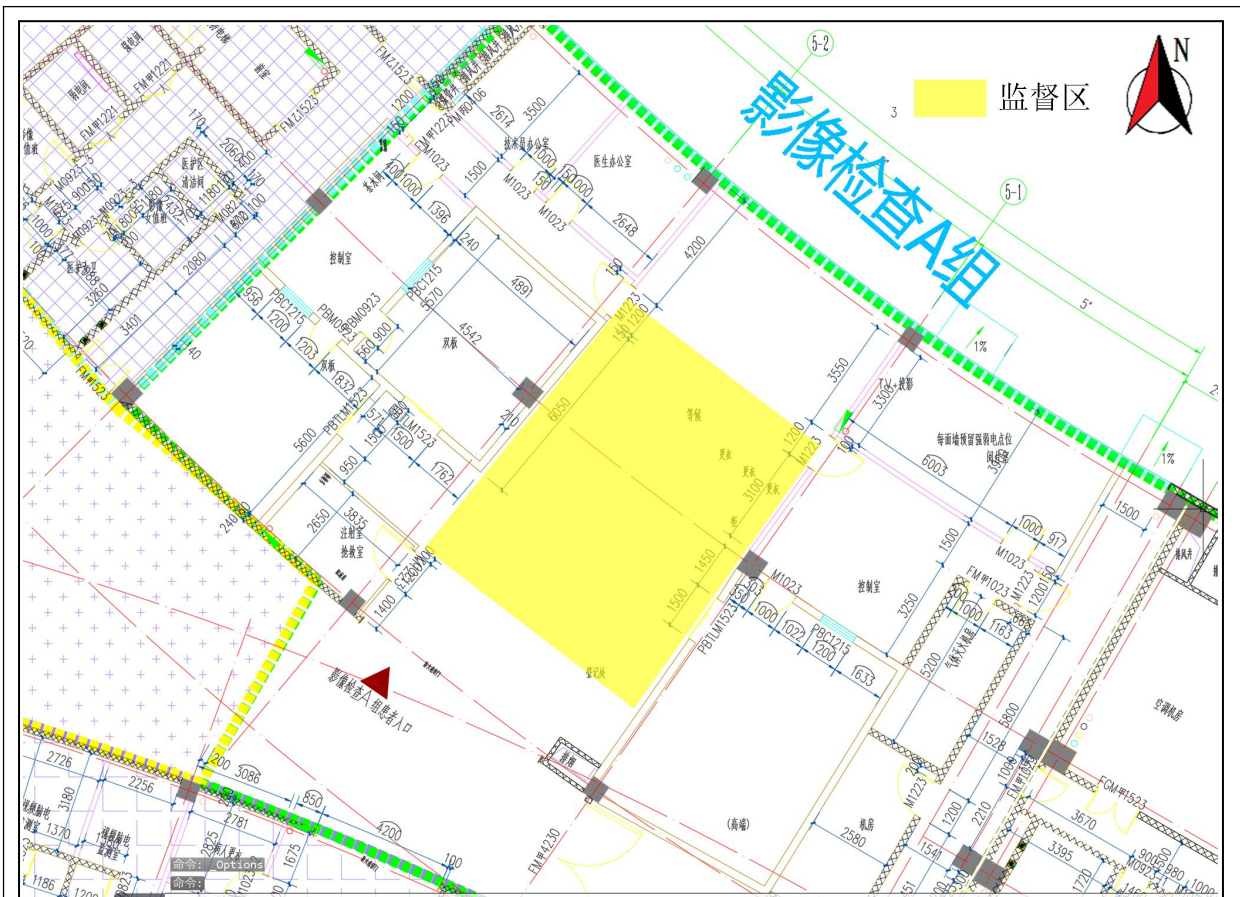


图10-6 DSA机房分区管理示意图（二层影像检查候诊区）

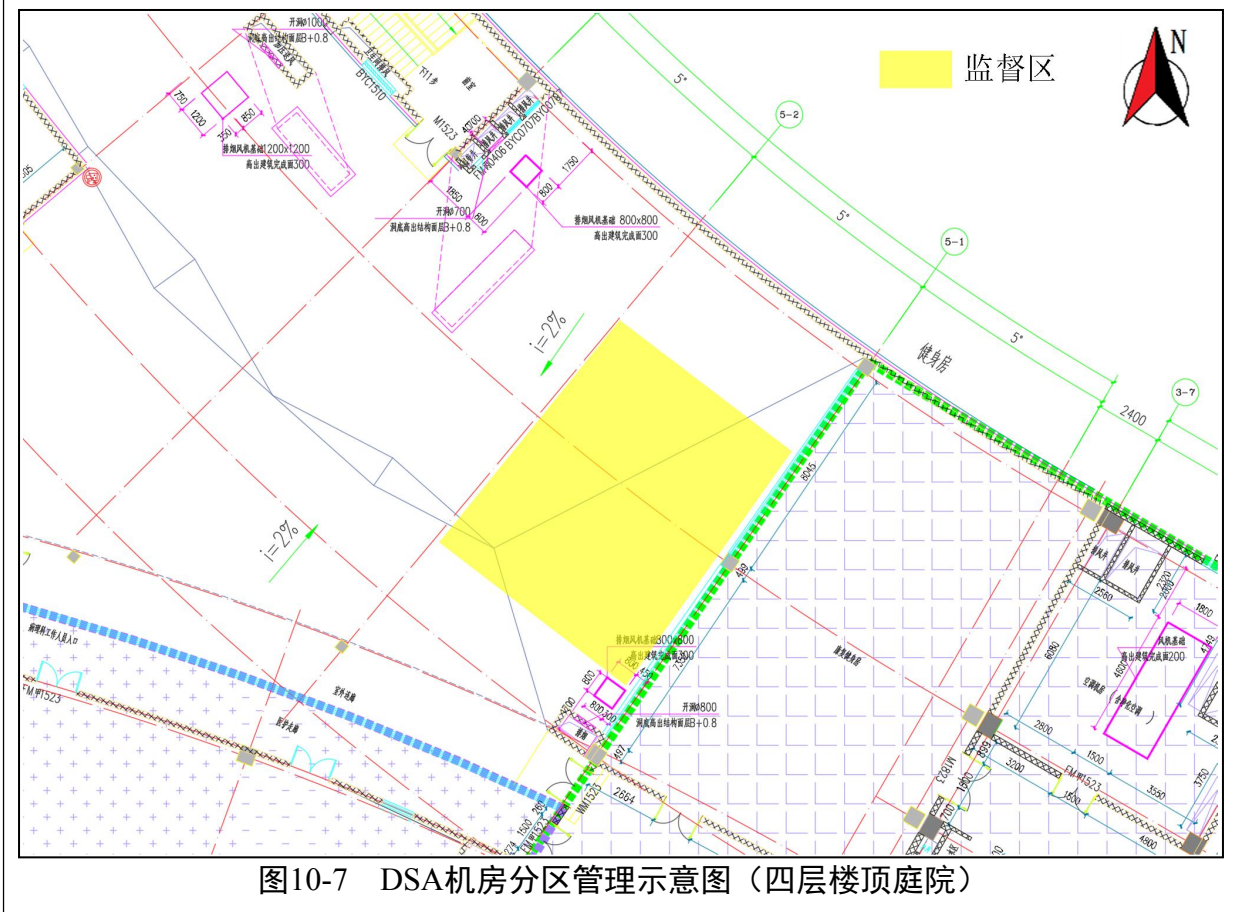


图10-7 DSA机房分区管理示意图（四层楼顶庭院）



### 3、拟采取的辐射安全防护措施

① DSA 设备具有的主动防护技术有：DSA 设备和控制台处上设置有红色急停开关，按下红色急停按钮，DSA 设备立即停止出束。DSA 设备具有工作人员在不变换操作位置情况下成功切换透视和采集功能的控制键。DSA 设置可调限束装置，使装置发射的线束照射面积尽量减小，以减少泄露辐射。透视曝光开关为常断式开关，并配有透视计时及限时报警装置。设备控制台和手术室内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光记录。

② DSA 手术室各防护门外设置电离辐射警告标志，防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，指示灯的灯箱上设有“射线有害，灯亮勿入”的警示语句。指示灯与患者防护门有效联动。

③ 候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

④ 患者进出门设置为电动平移门，并设置光幕式红外防夹装置。

⑤ 控制室设置观察窗，以便控制室操作人员通过观察窗观察手术室内医护人员及患者状态。

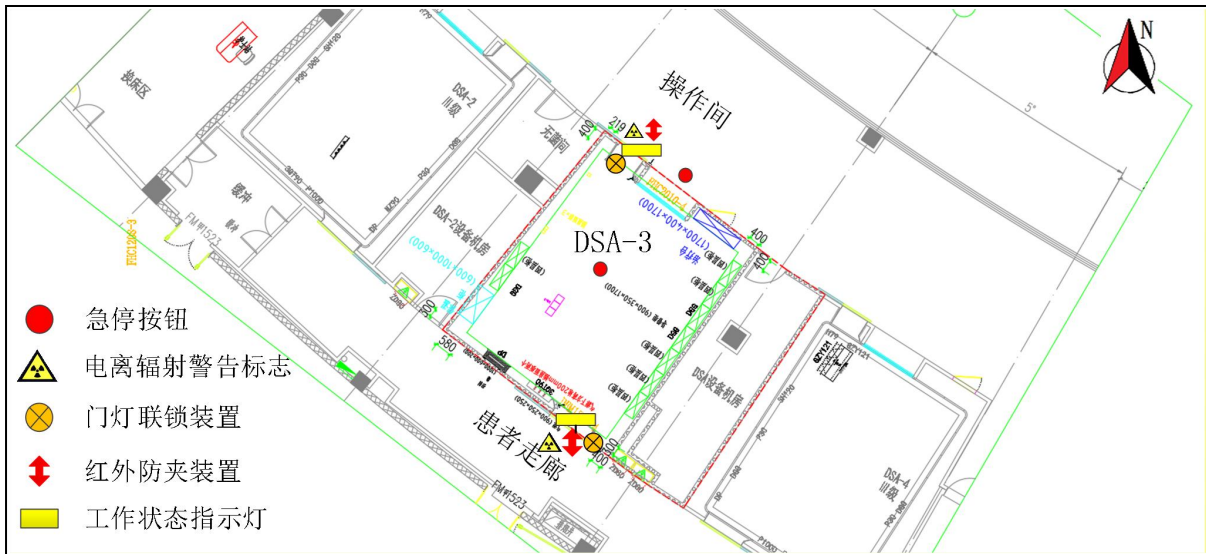


图10-8 DSA手术室辐射安全防护设施位置示意图

⑥ 放射工作人员正确佩戴个人剂量计，介入手术工作人员建议佩戴双个剂（在铅围裙内外各佩戴一个剂量计）。

⑦ 根据 GBZ130-2020《放射诊断放射防护要求》第 6.5 条规定，医院应为 DSA 手术室患者和工作人员配备相应的个人防护用品和辅助防护设施，配置要求见表 10-8。

表10-8 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			
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘/床侧防护屏/床侧防护帘 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	不需要			
DSA机房个人防护用品及辅助防护设施配备要求							
序号	个人防护用品	防护对象					
		成人受检者		儿童受检者		工作人员	
		铅当量 (mmPb)	数量 (件)	铅当量 (mmPb)	数量 (件)	铅当量 (mmPb)	数量 (件)
1	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾	≥0.5	≥1	≥0.5	≥1	—	不需要
2	铅橡胶颈套	≥0.5	≥1	≥0.5	≥1	≥0.5	≥2
3	铅橡胶围裙	—	—	—	—	≥0.5	≥2
4	铅防护眼镜	—	—	—	—	≥0.25	≥2
5	介入防护手套	—	—	—	—	≥0.025	≥2
6	铅橡胶帽子（选配）	≥0.25	≥1	≥0.5	≥1	≥0.25	选配
序号	辅助防护设施	工作人员					
		铅当量 (mmPb)		数量 (件)			
1	铅悬挂防护屏/铅防护帘	≥0.25		≥1			
2	床侧防护帘/床侧防护屏	≥0.25		≥1			
3	移动铅防护屏风（选配）	≥2.0		≥1			

#### 4、通风设计

DSA 设备在开机并处于出束状态时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量的 O<sub>3</sub> 和氮氧化物，DSA 机房拟安装通风装置，保持良好通风，产生的 O<sub>3</sub> 和氮氧化物可通风装置排出室外，对周围环境影响很小。

DSA 机房排风管道路径图如图 10-9。

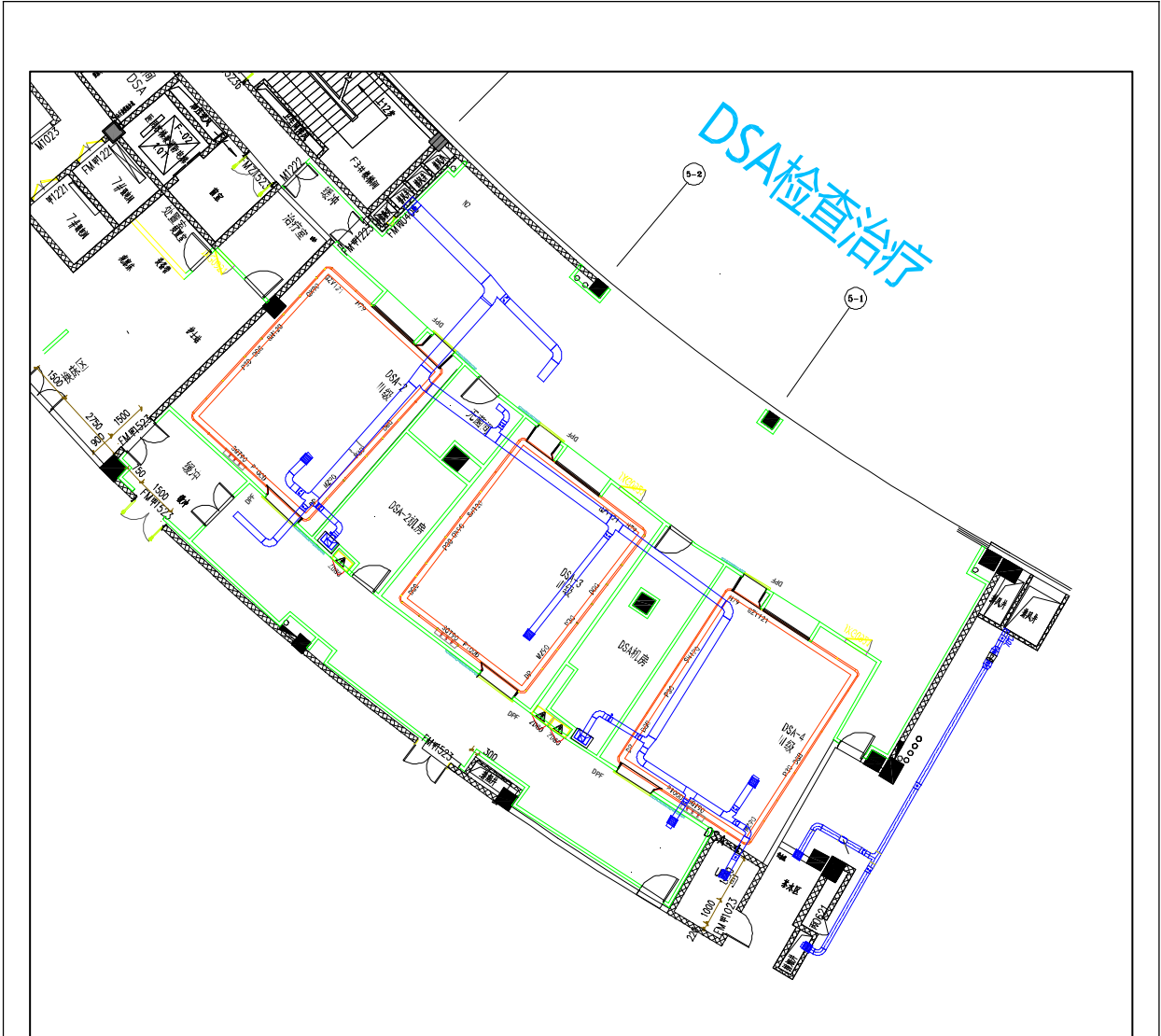


图10-9 DSA机房排风管道路径图

## “三废”的治理

### 1.核医学科

#### 1、PET/CT

本项目正常使用过程中，PET/C 射线装置应用过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。

#### 2、放射性废水

放射性废水的主要来源是工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地面和清洁工具清洗时可能会带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水。核医学科设计了独立的病人专用厕所，对病人的排泄物实施统一收集和管理。洗手和容器洗涤废水排入废水衰变池，经衰变达到排放活度后进入医院总污水处理站处理达标后，经审管部门核准排入市政污水管网。

结合医院总平面布置图，放射性废水衰变池位于医院东北侧覆土下方，距核医学科位置相对较远，放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。放射性废水处理经衰变达到排放标准后再排入医院总污水处理站。放射性废水衰变池靠近医院总污水处理站，位置相对合理。

衰变池设于室外地下，共三组，每组有效容积  $64\text{m}^3$ （长  $4.0\text{m}$ ×宽  $4.0\text{m}$ ×高  $4.0\text{m}$ ），分别独立设置。衰变池池壁采用  $250\text{mm}\sim 400\text{mm}$  钢筋混凝土浇筑。每组衰变池顶板上设检修孔，即作为水泵检修升，又作为污水取样口。

每组衰变池进水管上设电动阀，出水采用自动搅匀潜污泵排出。运行时先关闭第二组至最后一组衰变池进水管上的电动阀，使废水进入第一组衰变池，待第一组衰变槽达到设计液位后，打开第二组衰变池进水管上的电动阀，关闭第一组衰变池进水管上的电动阀，使废水进入第二组衰变池。按照相同的操作方法，使废水依次进入其他组衰变池。待第三组衰变池进水时，第一组衰变池废水已经过了 30 天，监测达标后即开动潜水泵排放。待最后一组衰变池达到设计液位后，重复向第一组衰变池进水，而第二组排水，依次循环。进水管上的电动阀和衰变池排水泵也可以采用 PLC 可编程控制器自动控制。

项目运营期间产生含放射性废水量约为  $0.4\text{m}^3/\text{d}$ （ $100\text{m}^3/\text{a}$ ），衰变池共三组，每组有效容积  $64\text{m}^3$ ，每个池体存满需要 160 天，第三组衰变池进水时，第一组衰变池废水

监测达标即排放，则排放时放射性废水最短衰变时间为 160 天，超过 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求后，再排入医院总污水处理站进一步处理。

本项目衰变池设计图见图 10-10 和图 10-11，放射性废水管道平面图见图 10-12。

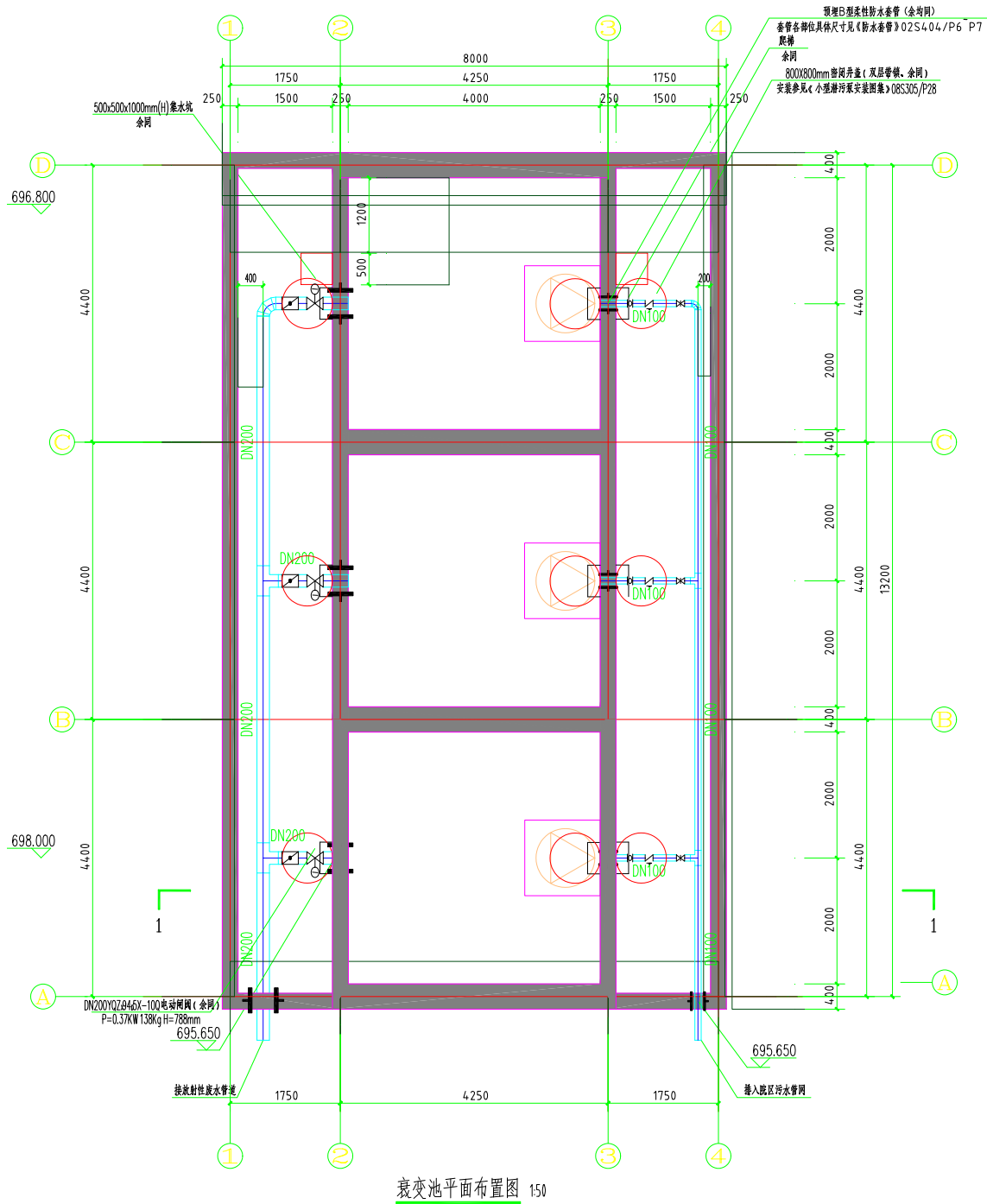


图10-10 衰变池平面布局图



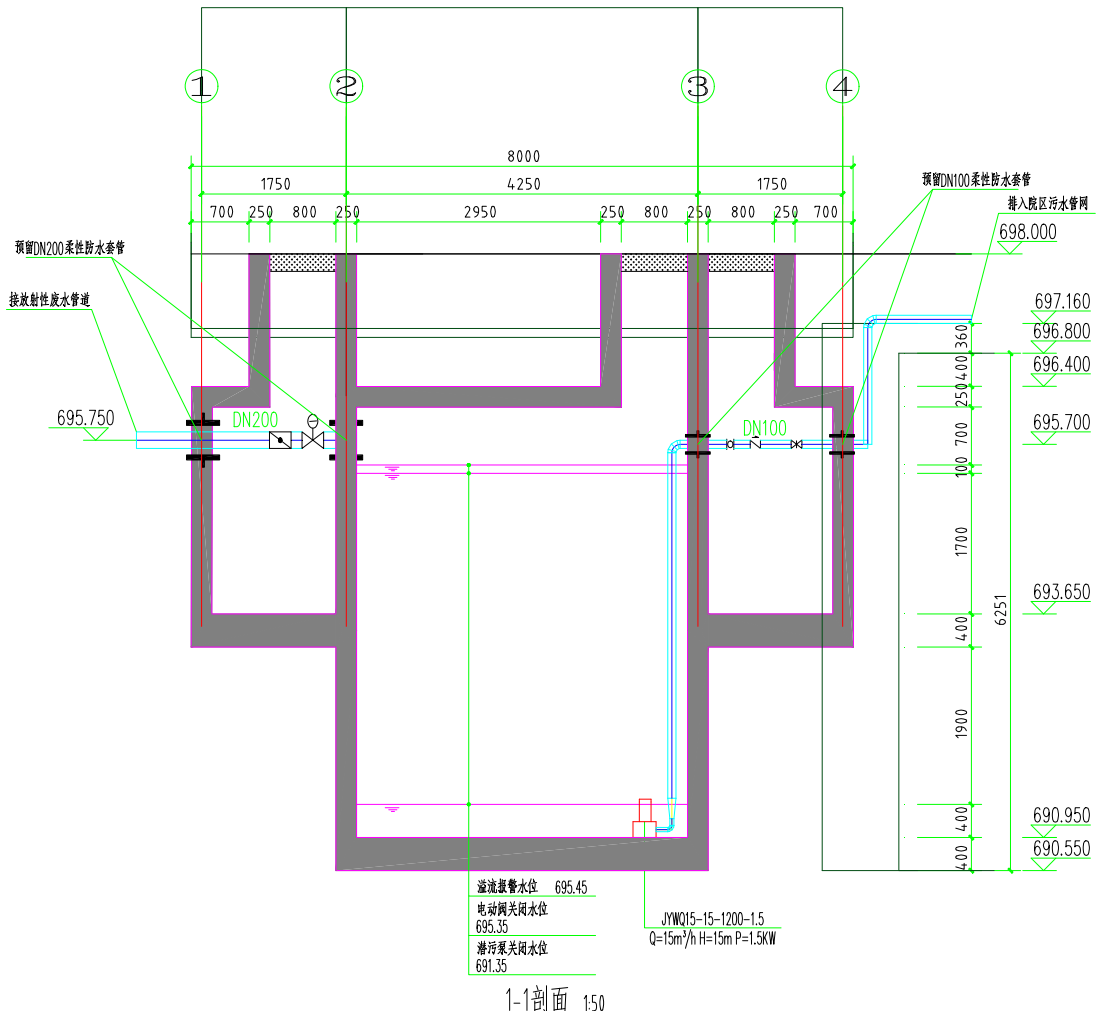


图10-11 衰变池剖面布局图

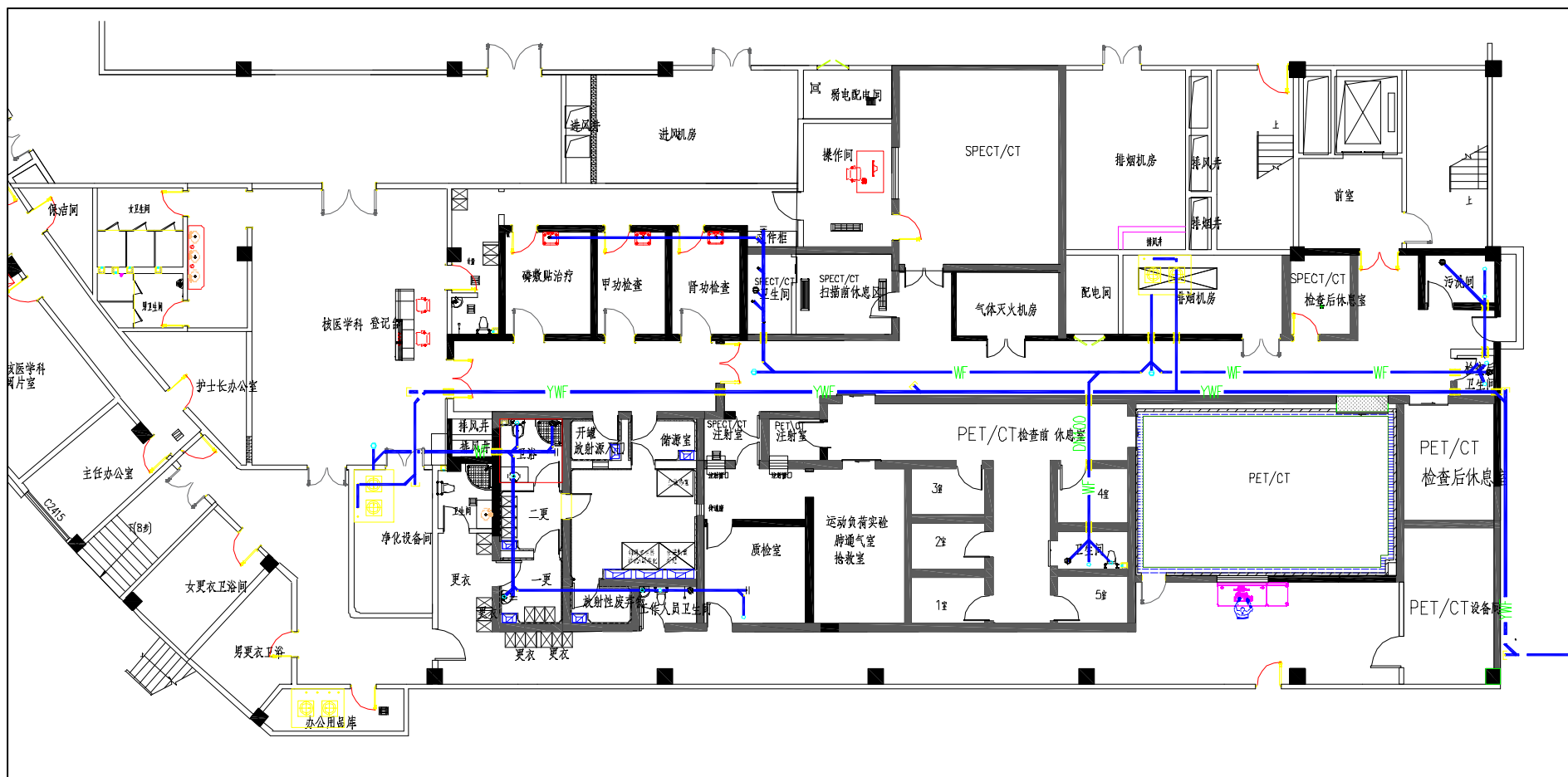


图10-12 放射性废水排水平面图

### 3、放射性废气

本项目核医学操作过程中会产生一定量的放射性气体。核医学科控制区采取独立的排风系统，并根据各功能区的活性高低分别设置排风管道及高效活性炭过滤防护装置，不违背核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。主管道均拟布设于吊顶上方，然后通过支管连接至各个工作区域用房，管道节点处拟设置调节阀门，防止放射性废气倒灌，主管道在吊顶上方至风井后，沿风井向上至屋面，经活性炭吸附过滤后排至大气。

本项目排风系统符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

### 4、放射性固废

项目产生的放射性固废主要为与放射性核素接触过的废注射器、消毒棉签、注射台上的吸水纸、一次性口罩、乳胶手套、擦拭纸巾等；工作场所清洁时用过的抹布及拖布；吸附放射性废气产生的废活性炭。

项目核医学科日接诊人数约 10 人，医疗废物按人均每天 0.05kg 计，则医疗废物每天产生量约为 0.5kg，全年产生量约为 125kg；清洁时用过的抹布及拖布产生量约为 5kg/a。放射性废物分类收集在专用的污物桶内，污物桶内置专用塑料袋，污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志；对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入锐器盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内，每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。塑料袋装满后密封并及时运送至废物暂存间内专用容器中。排风系统的活性炭预计每年更换一次，每次填装量为 50kg，则废活性炭产生量为 50kg/a。

医院拟将项目运行时产生的放射性固废分类收集在专用废物桶内，暂存于放射性废物间衰减。<sup>18</sup>F 半衰期小于 24 小时放射性固废暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm<sup>2</sup>，可对废物清洁解控作为一般医疗废物处理。

## 2.DSA

### 1、废水

DSA 使用数字显影技术，不使用显影液和定影液进行洗片操作，无洗片废水、废定（显）影液产生。

## 2、废气

DSA 设备在开机并处于出束状态时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，本项目 DSA 机房拟安装通风装置，保持良好的通风，产生的臭氧和氮氧化物可通风系统排出室外，对周围环境影响极小。

## 3、固体废物

DSA 手术过程中产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医疗废物，采用专用容器集中收集，就地打包，经污物通道转运至污物暂存间，最终委托有资质单位处置。

表 11 环境影响分析

### 建设阶段对环境的影响

项目核医学科已基本建设完成，PET/CT 尚未安装；DSA 机房主要涉及机房室内装修工程。因施工期已基本结束，仅剩机房及功能用房的室内装修及设备安装工程，工程量较小，在采取有效的防治措施后，能确保污染物达标排放，故施工期对周围环境影响较小。装修阶段的污染因子主要为装修涂料产生的有机废气、物料扬尘、废水、施工噪声、建筑垃圾等。

(1) 施工期装修使用环保型涂料，料堆采取防尘措施，清扫过程做到先洒水再清扫，固体废物及时清运，运输物料车采取覆盖等防止散落的措施。

(2) 施工现场的固定噪声和移动噪声诸如电钻、切割机、混凝土搅拌机等应相对集中，尽量缩小噪声干扰范围，合理安排作业时间，限制夜间进行有强噪声污染的施工作业。如需要夜间施工，须向当地生态环境主管部门申请夜间施工许可方可进行。

(3) 施工期间的生活污水、机械洗刷污水，应严格规定排放去向，严禁将施工泥浆排入下水道，以免引起排水不畅而导致周围积水内涝。生活污水依托医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。

(4) 施工期间的建筑垃圾应在指定的地点堆放，并及时清运；废包装材料和生活垃圾产生量少，分类收集于垃圾桶，由环卫部门统一清运。

项目施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场管理等手段，施工期对周围环境影响较小，且施工期影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

### 运行阶段对环境的影响

#### 1.PET/CT辐射工作场所

##### 1、核医学科各功能用房设计墙体屏蔽核算

##### (1) 计算公式

①PET等工作场所的屏蔽计算可采用瞬时剂量率计算方法。 $\gamma$ 射线来自放射性核素，相对于所在场所的尺寸，放射源可看作是点源，符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度计算可由以下公式得出：

$$d = TVL \cdot \lg\left(\frac{A \cdot \Gamma}{H_p \cdot R^2}\right) \quad (\text{式 11-1})$$

式中： $d$ —符合剂量率目标要求的墙体屏蔽厚度，单位mm；

$TVL$ — $\gamma$ 射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位mm；

$A$ —放射源活度，单位MBq；

$\Gamma$ —距源1m处的周围剂量当量率常数，单位 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

$R$ —为参考点与放射源间距离，单位m；

$H_p$ —对参考点处要求的瞬时剂量率控制水平，单位 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

② 经屏蔽后关注点处的剂量率：

$$H_R = A \times \Gamma \times R^{-2} \times 10^{-\frac{X}{TVL}} \quad (\text{式 11-2})$$

式中： $H_R$ —经屏蔽后关注点的剂量率，单位 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$R$ —为参考点与放射源间距离，单位m；

$A$ —放射源活度，单位MBq；

$\Gamma$ —距源1m处的周围剂量当量率常数，单位 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

$TVL$ — $\gamma$ 射线在防护材料的十分之一值层厚度，单位mm；

$X$ —屏蔽体的屏蔽厚度，mm。

### (2) 周围剂量当量率控制目标值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中工作场所屏蔽要求，本评价报告中工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；放射性药物分装箱体、注射窗外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

### (3) 相关参数选取

本次评价PET/CT工作场所以 $^{18}\text{F}$ 的相关参数进行核算。

表11-1 计算参数

核素	①对于裸源单位放射性活度所致体外1m处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	②患者体内单位放射性活度所致体外1m处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (mm)		
			混凝土 ( $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )	砖 ( $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ )	铅 ( $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ )
$^{18}\text{F}$	0.1430	0.0920	176	263	16.6

注：数据来源《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录H、I、L。

核医学科各工作区域核算条件见下表。

表11-2 核医学科各工作区域屏蔽计算核算条件

区域名称	核算条件	剂量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	1m处的辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
PET 药物准备间	放射性药物 <sup>18</sup> F在分装热室内由正电子药物全自动分装仪自动分装，按照分装热室表面5cm处剂量当量率5 $\mu\text{Sv/h}$ 计算	0.143	/
PET/CT注射窗	1名患者，单人用药量370MBq	0.143	52.91
质检室	每次质控检测的药物活度最大370MBq。	0.143	52.91
运动负荷/抢救室	1名患者，单人用药量370MBq	0.092	34.04
检查前休息室及卫生间	1名患者，单人用药量370MBq	0.092	34.04
PET/CT机房	1名患者，单人用药量370MBq	0.092	34.04
检查后休息室	1名患者，单人用药量370MBq	0.092	34.04

(4) 计算结果

控制区各工作场所屏蔽效能核算结果见下表。

表11-3 核医学科各工作区域屏蔽防护效能核算结果

核算位置		预测距离 (m)	1m处周围 剂量当量 率( $\mu\text{Sv/h}$ )	核算屏蔽 厚度 (mmPb)	设计厚度	设计厚度下 墙体外瞬时 剂量 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
PET/CT 注射室	东墙	2.0	52.91	12.0	300mm混凝土，等效 28.3mmPb	0.26
	西墙	1.0		22.0		1.04
	南墙	1.0		22.0		1.04
	北墙	2.0		12.0		0.26
	防护门	2.0		22.0	20mmPb注射窗 +8mmPb防护门	0.54
	机房楼上- 地面绿化	7.0		/	/	1.08
质检室	东墙	2.5	52.91	8.8	300mm混凝土，等效 28.3mmPb	0.17
	西墙	2.5		8.8		0.17
	南墙	2.5		8.8		0.17
	北墙	2.5		8.8		0.17
	防护门	3.5		3.9	5mmPb	2.16
	机房楼上- 地面绿化	7.0		/	/	1.08
运动负 荷/抢救 室	东墙	2.3	34.04	6.8	250mm混凝土，等效 23.6mmPb	0.24
	西墙	2.3		6.8	300mm混凝土，等效 28.3mmPb	0.13
	南墙	3.5		0.8		0.05
	北墙	3.5		0.8		0.05

	防护门	3.5		0.8	5mmPb	1.39
	机房楼上-地面绿化	7.0		/	/	0.69
PET/CT扫描前休息室（1-5室）及卫生间	东墙	2.0	34.04	8.8	300mm混凝土，等效28.3mmPb	0.17
	1-3室西墙	2.0		8.8	250mm混凝土，等效23.6mmPb	0.32
	南墙	1.5		13.0	300mm混凝土，等效28.3mmPb	0.30
	北墙	1.5		13.0		0.30
	防护门	2.0		8.8	10mmPb	2.13
	机房楼上-地面绿化	7.0		/	/	0.69
PET/CT机房	东墙	5.6	34.04	/	300mm钢筋混凝土+2mm厚防护铅板，等效30.3mmPb	0.02
	西墙	5.6		/		0.02
	南墙	3.6		0.4	250mm钢筋混凝土+2mm厚防护铅板，等效25.6mmPb	0.08
	北墙	3.6		0.4	300mm钢筋混凝土+2mm厚防护铅板，等效30.3mmPb	0.04
	西墙患者防护门	5.5		/	5mmPb	0.56
	北墙患者防护门	4.5		/	5mmPb	0.84
	南墙工作人员防护门	5.3		/	8mmPb	0.40
	南墙观察窗	3.8		/	10mmPb	0.59
	机房楼上-地面绿化	7.0		/	300mm钢筋混凝土+2mm厚防护铅板，等效30.3mmPb	0.01
检查后休息室	东墙	2.3	34.04	6.8	300mm混凝土，等效28.3mmPb	0.13
	西墙	2.3		6.8		0.13
	南墙	2.8		4.0		0.09
	北墙	2.8		4.0		0.09
	防护门	2.8		4.0	5mmPb	2.17
	机房楼上-地面绿化	7.0		/	/	0.69

注：对于PET/CT的X射线能量所致的辐射剂量率尚纳入上表计算。CT运行时，患者释放的 $\gamma$ 射线与CT散射的叠加剂量率详见表11-7。

根据上表及后文表11-7计算结果可知，核医学科各工作场所的墙体、防护门、观



察窗、地板及顶棚设计厚度均满足理论估算出的厚度，屏蔽体外剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准限值，满足辐射防护要求。

## 2、防护手套箱屏蔽效能核算

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中工作场所屏蔽要求，放射性药物分装箱体、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu$ Sv/h；放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25 $\mu$ Sv/h。

<sup>18</sup>F 采取在分装热室内置自动分装仪进行分装，医生通过远程电脑控制设定分装活度，并按指定活度分装至注射器 <sup>18</sup>F 内，分装仪置于防护手套箱内。

根据公式 11-2 计算分装热室表面 5cm 处、注射窗操作位处剂量率，计算结果见下表。

表11-4 分装热室、注射窗表面操作位处剂量率

计算点		操作核素活度 MBq	周围剂量当量率常数（裸源） $\mu$ Sv·m <sup>2</sup> ·(h·MBq) <sup>-1</sup>	距离 (m)	屏蔽厚度	剂量率 $\mu$ Sv/h	标准限值 $\mu$ Sv/h
<sup>18</sup> F分装热室	操作面5cm处	3700	0.143	0.5	50mmPb	2.06	2.5
	其余面5cm处	3700	0.143	0.5	50mmPb	2.06	25
注射室	注射窗操作面5cm处	370	0.143	0.5	20mmPb注射窗+15mmPb注射器屏蔽套(30mmPb)	1.65	2.5
	其余面5cm处	370	0.143	0.5	20mmPb注射窗+15mmPb注射器屏蔽套(30mmPb)	1.65	25

根据上表核算，分装热室和注射窗外表面 5cm 处周围剂量当量率均低于 2.5 $\mu$ Sv/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）放射性药物分装箱体、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu$ Sv/h；放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25 $\mu$ Sv/h。

## 3、III类射线装置机房屏蔽体屏蔽X射线的的能力校核

### (1) 机房空间符合性分析

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），PET/CT 机房（6.0m × 7.44m）的 X 射线防护按 CT 部分评价，使用面积及最小单边长度符合性分析详见表 11-5。

表11-5 PET/CT机房和SPECT-CT机房使用面积及最小单边长度符合性分析

机房名称	参数	设计值	GBZ130-2020标准要求	是否符合

PET/CT机房	使用面积	44.64m <sup>2</sup>	≥30m <sup>2</sup> （按CT评价）	符合
	最小单边长	6.0m	≥4.5m（按CT评价）	符合

根据表11-5可知，PET/CT机房使用面积及最小单边长度满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中CT机房相关要求。

(2) 机房防护屏蔽设计符合性

①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C公式C.1和C.2，混凝土的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 取值自附录C表C.2，计算得出在管电压140kV（CT）下，300mm混凝土等效铅当量3.8mmPb，250mm混凝土等效铅当量3.0mmPb。

本项目拟配置PET/CT最大管电压为140kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表3中的要求，机房的X射线防护屏蔽措施符合性分析见表11-6。

表11-6 PET/CT和SPECT-CT机房X射线防护屏蔽措施符合性分析一览表

机房名称	屏蔽部位	屏蔽材料及规格	等效屏蔽	标准要求	评价
PET/CT	南墙	250mm钢筋混凝土（3.0mmPb） +2mm厚防护铅板	5.0mmPb	2.5mmPb	符合
	其余墙体	300mm钢筋混凝土（3.8mmPb） +2mm厚防护铅板	5.8mmPb	2.5mmPb	符合
	屋顶	300mm钢筋混凝土（3.8mmPb） +2mm厚防护铅板	5.8mmPb	2.5mmPb	符合
	观察窗	10mmPb观察窗	10mmPb	2.5mmPb	符合
	工作人员门	8mmPb当量手动单开门	8mmPb	2.5mmPb	符合
	受检者门	5mmPb当量电动推拉门*2	5mmPb	2.5mmPb	符合

根据上表可知，本项目PET/CT机房的屏蔽能力能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，CT部分运行中对外环境影响很小。

4、PET/CT附加剂量率分析

PET/CT进行CT扫描时，机房周围存在CT散射与患者释放的 $\gamma$ 射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。

本项目拟安装的PET/CT设备中CT部分最大管电压140kV、最大管电流420mA；参考西门子厂家140kV工况下CT周围的剂量分布曲线，1m处的杂散辐射为0.052 $\mu$ Gy/mAs（垂直）和0.051 $\mu$ Gy/mAs（水平），从保守角度，PET/CT扫描取

420mA，1m处的杂散辐射剂量率最高约78.624mGy/h。其他型号设备的CT散射辐射水平也在相同量级。

根据表11-6核算的PET/CT机房屏蔽体的等效铅厚度以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C计算得透射因子B，最终计算得出本项目PET/CT机房屏蔽体外表面30cm处的剂量见下表11-7所示。

表11-7 PET/CT机房屏蔽体外CT运行附加剂量率核算结果

机房名称	屏蔽防护体名称	距离(m)	屏蔽设计厚度等效铅厚度(mmPb)	透射因子B	CT辐射剂量率(μSv/h)	患者辐射剂量率(μSv/h)	患者辐射叠加CT辐射剂量率(μSv/h)
PET/CT机房	东墙	5.6	5.8	$3.68 \times 10^{-7}$	$9.23 \times 10^{-4}$	0.02	0.02
	西墙	5.6	5.8	$3.68 \times 10^{-7}$	$9.23 \times 10^{-4}$	0.02	0.02
	南墙	3.6	5	$1.89 \times 10^{-6}$	$1.14 \times 10^{-2}$	0.08	0.09
	北墙	3.6	5.8	$3.68 \times 10^{-7}$	$2.23 \times 10^{-3}$	0.04	0.04
	西墙患者防护门	5.5	5	$1.89 \times 10^{-6}$	$4.91 \times 10^{-3}$	0.56	0.56
	北墙患者防护门	4.5	5	$1.89 \times 10^{-6}$	$7.33 \times 10^{-3}$	0.84	0.85
	南墙工作人员防护门	5.3	8	$4.31 \times 10^{-9}$	$1.21 \times 10^{-5}$	0.40	0.40
	南墙观察窗	3.8	10	$7.70 \times 10^{-11}$	$4.19 \times 10^{-7}$	0.59	0.59
	机房楼上-地面绿化	7.0	5.8	$3.68 \times 10^{-7}$	$5.91 \times 10^{-4}$	0.01	0.01

由上表可知，本项目PET/CT机房屏蔽体外同时考虑患者释放的γ射线和CT扫描散射对周围环境的辐射影响，则PET/CT机房各屏蔽体外30cm处的瞬时剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中2.5μSv/h的限值要求。

### 5、剂量估算

(1) 人员受到的附加年有效剂量可由下式计算得到：

$$H_E = H_R \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-3})$$

式中： $H_E$ —X-γ辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$H_R$ —X-γ辐射剂量率，μSv/h；

$t$ —年工作时间，h；

$T$ —居留因子。

(2) 估算结果

PET显像检查使用放射性核素<sup>18</sup>F，其显像检查过程大致可分为药物分装、注射、摆位、扫描4个过程，因此可通过这4个过程估算工作人员年有效剂量。根据医院提供的资料，单名患者<sup>18</sup>F药物用量为370MBq，每天检查10人次，年工作250天，年治疗病人2500人次。

**分装：**本项目<sup>18</sup>F分装是由分装热室内的正电子药物全自动分装仪自动分装，故不考虑<sup>18</sup>F分装操作对操作人员的辐射影响。

**注射：**工作人员为患者进行<sup>18</sup>F药物注射时，工作人员在注射窗（20mmPb+注射器屏蔽套 15mmPb）后给患者进行注射，工作人员距离患者约 0.5m，工作人员注射操作位剂量率为 1.65μSv/h，每次给患者注射药物时间为 1min 计，年工作时间按 41.67h 计，则注射<sup>18</sup>F药物所致工作人员年有效剂量为 68.75μSv。

**摆位：**患者注射<sup>18</sup>F后，在检查前休息室候诊一定时间，进入 PET/CT 机房进行检查。工作人员需指导患者进行摆位时与患者距离约 1m，患者注射 370MBq 的<sup>18</sup>F药物 1m 处的剂量率约为 34.04μSv/h，每个病人摆位按 0.5min 计，全年累计摆位时间 20.83h，摆位过程所致工作人员年有效剂量均为 709.05μSv。

**扫描：**每人PET扫描时间约 15min，全年累积扫描时间 625h，工作人员操作处（观察窗）剂量率按服药患者所致剂量率 0.59μSv/h 进行计算，PET扫描过程中所致工作人员年附加有效剂量为 368.75μSv；CT扫描时叠加 X 射线影响，观察窗处剂量率 0.59μSv/h（见表 11-6），CT部分扫描时间每人 0.5min，全年累积 CT 扫描时间 20.83h，CT扫描过程中所致工作人员年附加有效剂量为 12.29μSv。

综上，PET 显像检查所致工作人员年附加有效剂量见表 11-8。

表11-8 PET显像检查所致工作人员年附加有效剂量核算表

工作场所	工作岗位	剂量率 (μSv/h)	全年累积工作时间 (h)	年剂量 (μSv/a)	岗位人数 (人)	每人年剂量 (mSv/a)
PET/CT	<sup>18</sup> F注射	1.65	41.67	68.75	1	0.069
	摆位	34.04	31.25	709.05	1	1.09
	PET扫描	0.59	625	368.75		
	CT扫描	0.59	20.83	12.29		

由上表计算结果可知，本项目PET显像检查所致工作人员职业照射的最大年有效剂量值为1.09mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员的职业照射水平控制限值（20mSv）及《核医学辐射防护与安全要

求》（HJ1188-2021）中规定的职业照射剂量约束值（5mSv）。

#### 4) 公众成员剂量估算与评价

核医学科工作场所控制区屏蔽体外公众成员年有效剂量估算结果见下表。

表11-9 公众成员年有效剂量估算结果

工作场所	关注点	患者辐射影响		CT扫描影响（ $\mu\text{Sv/a}$ ）		居留因子	年有效剂量（mSv/a）
		周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	年受照射时间（h）	周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	年受照射时间（h）		
PET/CT注射室	机房楼上-地面绿化	1.08	41.67	/	/	1/40	$1.13 \times 10^{-3}$
PET/CT扫描前休息室（1-5室）及卫生间	机房楼上-地面绿化	0.69	每人候诊30min，按两人同时候诊，每天2.5h，全年625h	/	/	1/40	0.011
PET/CT机房	机房楼上-地面绿化	0.01	PET：625h	0.01	CT：20.83h	1/40	$1.61 \times 10^{-4}$
检查后休息室	机房楼上-地面绿化	0.69	每人10min，全年416.7h	/	/	1/40	$7.19 \times 10^{-3}$

本项目建设的核医学科位于1号楼负一层，设置有专用工作人员通道、患者通道，患者通道入口、出口处设置有单向门禁系统，除患者或核医学科工作人员能够直接进入外，一般公众难以进入到核医学科控制区内。核医学科运行对公众影响主要考虑屋顶地面绿化可能经过的流动人员。

由上表可知，核医学科工作场所控制区边界外的公众成员受到的年附加剂量最大为0.011mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的公众的职业照射水平控制限值（1mSv）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的公众照射剂量约束值（0.1mSv）。此外，核医学科是个相对封闭的区域，公众成员一般不会到达控制区，且公众在控制区边界外停留时间较短，故公众成员受到的附加剂量实际会比环评预测值小。

#### 5、 $\beta$ 剂量率分析

供药单位按照预约时间在接诊前将当日所需药物送到储源室。根据患者用药种类和活度，放射工作人员进行药物分装质控、注射或给药。正常情况下基本不会发生液体药物泄漏，但若放射工作人员操作失误，使针剂或药丸中放射性核素泄漏，将造成工作场所的污染，产生 $\beta$ 射线辐射影响。其次，药物注射或口服后患者的体液、排泄物

等含有放射性药物，如患者随意吐痰等可造成其停留场所的污染。另外，若密封源破损将可能导致工作场所的 $\beta$ 表面污染，可能对周边环境产生辐射影响。

由于 $\beta^+$ 在富含电子的组织内移动大约1mm后会很快与负电子结合发生湮灭反应。为保守起见，本次评价对 $^{18}\text{F}$ 衰变产生的 $\beta^+$ 射线按 $\beta$ 射线进行射程的保守估算， $\beta$ 射线在材料中的射程计算公式如下：

$$d = E_{\beta \max} / 2\rho \quad (\text{式 11-4})$$

式中：

$d$ ——为防护厚度，cm；

$\rho$ ——屏蔽材料密度， $\text{g}/\text{cm}^3$ （塑料 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅 $11.34\text{g}/\text{cm}^3$ ）；

$E_{\beta \max}$ —— $\beta$ 粒子最大能量，MeV。

在放射性药物 $^{18}\text{F}$ 注射环节， $\beta$ 射线对护士的影响主要在手部，核素操作人员利用一次性针筒进行注射，针筒屏蔽材质为钨，其中注射 $^{18}\text{F}$ 时针筒屏蔽材质等效铅当量15mmPb，在采取以上措施，药物注射环节可有效屏蔽 $\beta$ 射线对辐射工作人员的影响。

放射性药物 $^{18}\text{F}$ 的 $\beta^+$ 粒子最大能量为0.63MeV，经计算，相同能量负电子在塑料中的射程为2.25mm，在铅里的射程为0.28mm；根据计算结果可知，药物 $^{18}\text{F}$ 产生的 $\beta$ 射线在塑料和铅中的程均较短，已有的防护完全能够屏蔽 $\beta$ 射线。因此，在正常工作过程中，项目核医学科产生的 $\beta$ 射线对放射工作人员的影响较小。

## 6、放射性废气影响分析

本项目核医学科控制区采取独立的排风系统，并根据各功能区的活性高低分别设置排风管道及高效活性炭过滤防护装置，不违背核医学科排风系统低活度往高活度转移的要求。主管道均拟布设于吊顶上方，然后通过支管连接至各个工作区域用房，管道节点处拟设置调节阀门，防止放射性废气倒灌，主管道在吊顶上方至风井后，沿风井向上至屋面，经活性炭过滤后排至大气。此外，核医学科 $^{18}\text{F}$ 分装热室单独设有一路排风管道，管道连接专用防辐射排风管，其风速不小于0.5m/s，并保证分装热室处于负压状态，且均设有高效活性炭过滤防护装置。

项目产生的放射性废气在采取上述措施后对环境影响较小，核医学科各工作场所排风系统能够符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。

## 7、放射性废水影响分析

放射性废水的主要来源是工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、

地面和清洁工具清洗时可能会带有微量放射性的废液以及患者冲洗排使用水。核医学科设计了独立的患者专用厕所，对患者的排泄物实施统一收集和管理。洗手和容器洗涤废水排入废水衰变池，经衰变达到排放活度后进入医院总污水处理站处理达标后，经审管部门核准排入市政污水管网。

衰变池设于室外地下，共三组，每组有效容积  $64\text{m}^3$ （长  $4.0\text{m}\times$ 宽  $4.0\text{m}\times$ 高  $4.0\text{m}$ ），分别独立设置。衰变池池壁采用  $250\text{mm}\sim 400\text{mm}$  钢筋混凝土浇筑。每组衰变池顶板上设检修孔，即作为水泵检修升，又作为污水取样口。

项目运营期间产生含放射性废水量约为  $0.4\text{m}^3/\text{d}$ （ $100\text{m}^3/\text{a}$ ），衰变池共三组，每组有效容积  $64\text{m}^3$ ，每个池体存满需要 160 天，第三组衰变池进水时，第一组衰变池废水监测达标即排放，则排放时放射性废水最短衰变时间为 160 天，超过 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求。

### 9、放射性固体废物影响分析

项目产生的放射性固废主要为与放射性核素接触过的废注射器、消毒棉签、注射台上的吸水纸、一次性口罩、乳胶手套、擦拭纸巾等；工作场所清洁时用过的抹布及拖布；吸附放射性废气产生的废活性炭。

项目核医学科日接诊人数约 10 人，医疗废物按人均每天  $0.05\text{kg}$  计，则医疗废物每天产生量约为  $0.5\text{kg}$ ，全年产生量约为  $125\text{kg}$ ；清洁时用过的抹布及拖布产生量约为  $5\text{kg}/\text{a}$ 。放射性废物分类收集在内置专用塑料袋的污物桶（污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志）内，塑料袋装满后密封并及时运送至废物暂存间内专用容器中。排风系统的活性炭预计每年更换一次，每次填装量为  $50\text{kg}$ ，则废活性炭产生量为  $50\text{kg}/\text{a}$ 。

医院拟将项目运行时产生的放射性固废分类收集在专用废物桶内，暂存于放射性废物间衰减。 $^{18}\text{F}$  半衰期小于 24 小时放射性固废暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$ 表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控作为一般医疗废物处理。

医院应安排专人负责管理废物的存储和处理，建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养，接触放射性废物的工作人员必须穿放射性污

染防护服，并佩戴个人剂量计。

### 1.2数字减影血管造影机

本项目 DSA 最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA。根据院方提供的数据，本项目 DSA 自带控制系统，设备在操作时可根据患者体型、照射部位等信息实时调节管电压。

DSA 设备运行分为透视和采集两种模式。根据《医用外照射源的辐射防护》（ICRP33）中 P55 的图 2，管电压为 125kV 时，2mmAl 滤过下，离靶 1m 处的剂量率为 11mGy/mA · min，根据医院提供的运行参数，透视时最大管电流保守取 30mA，采集时取 500mA，则本项目距靶点 1m 处的最大剂量率保守取透视时  $1.98 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ ，采集时  $3.30 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

DSA 主束照向患者，各关注点处仅考虑泄漏线和散射线影响，一般射线泄漏率按 0.1%估算。

关注点计算时取各机房屏蔽体表面外 0.3m 处。

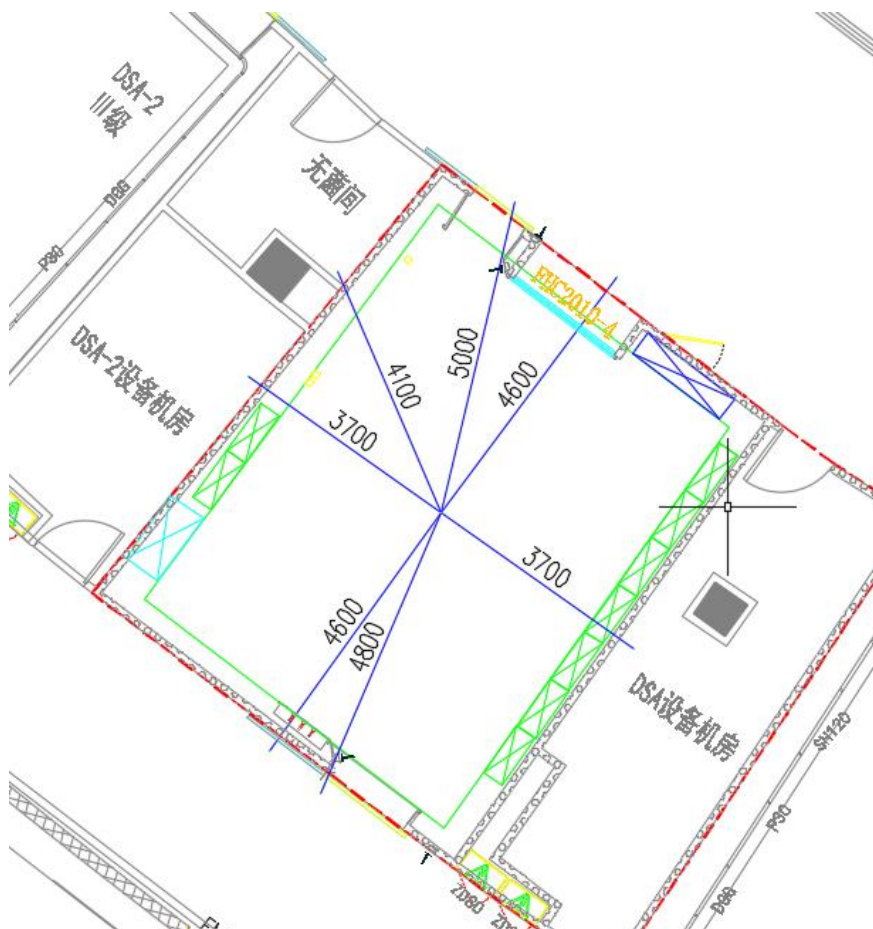


图11-4 DSA手术室关注点设定示意图



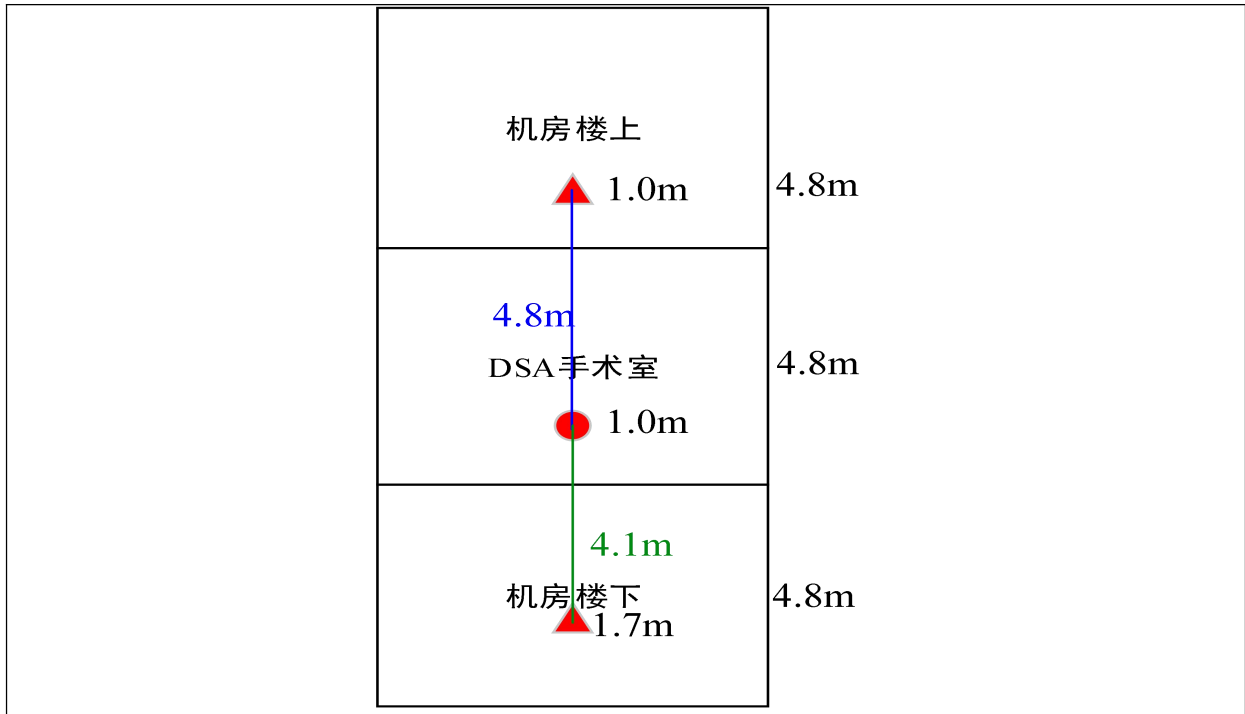


图11-5 DSA手术室楼上楼下关注点距离示意图

(1) 泄露辐射剂量率估算

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《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录C计算。

$$H = \frac{f \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad (\text{式 11-5})$$

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11-6})$$

式中:

H: 关注点漏射剂量率,  $\mu\text{Gy/h}$ ;

f: 设备射线泄漏率, 取 0.1%;

$H_0$ : 离靶 1m 处的剂量率,  $\mu\text{Gy/h}$ ;

R: 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 11-9。对泄漏辐射, 拟合参数按照主束情况取值, 对散射辐射, 拟合参数按照散射情况取值。

表11-10 X射线辐射衰减的有关拟合参数

管电压	材料	参数		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
125kV（主束）	铅	2.219	7.923	0.5386
125kV（散射）	铅	2.233	7.888	0.7295

注： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 取值参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C

②估算结果

机房外各关注点的泄露辐射剂量率估算结果见表 11-11。

表11-11 各关注点泄露辐射剂量率估算结果

机房	关注点位置描述		距离R (m)	铅当量X (mm)	透射因子 B	透视状态剂 量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	采集状态剂 量率( $\mu\text{Sv/h}$ )
DSA 机房	东侧	设备间	3.7	3	$7.97 \times 10^{-5}$	$1.15 \times 10^{-1}$	1.92
	南侧	患者防护门	4.8	4	$8.42 \times 10^{-6}$	$7.23 \times 10^{-3}$	$1.21 \times 10^{-1}$
		患者走廊	4.6	3	$7.97 \times 10^{-5}$	$7.45 \times 10^{-2}$	1.24
	西侧	设备间	3.7	3	$7.97 \times 10^{-5}$	$1.15 \times 10^{-1}$	1.92
		无菌间	4.1	3	$7.97 \times 10^{-5}$	$9.38 \times 10^{-2}$	1.56
	北侧	工作人员门	5.0	4	$8.42 \times 10^{-6}$	$6.67 \times 10^{-3}$	$1.11 \times 10^{-1}$
		观察窗	4.6	4	$8.42 \times 10^{-6}$	$7.88 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-1}$
		医护走廊	4.6	3	$7.97 \times 10^{-5}$	$7.45 \times 10^{-2}$	1.24
	楼上	楼上庭院	4.8	3.87	$1.13 \times 10^{-5}$	$9.67 \times 10^{-3}$	$1.61 \times 10^{-1}$
	楼下	影像候诊区	4.1	3.87	$1.13 \times 10^{-5}$	$1.33 \times 10^{-2}$	$2.21 \times 10^{-1}$

(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）。

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (S/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11-7})$$

式中：

H：关注点处的患者散射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ : 离靶 1m 处的最大剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$\alpha$ : 患者对 X 射线的散射比, 取 0.0015 ( $90^\circ$  散射, 相对于  $400\text{cm}^2$  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  $400\text{cm}^2$ ;

$d_0$ : 源与患者的距离, 0.5m;

$d_s$ : 患者与关注点的距离, m;

B: 屏蔽透射因子。

## ②估算结果

机房外各关注点的散射辐射剂量率估算结果见表 11-12。

表11-12 各关注点散射辐射剂量率估算结果

机房	关注点位置描述		铅当量 X(mm)	$d_0$ (m)	$d_s$ (m)	透射因子B	透视状态剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	采集状态剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
DSA 机房	东侧	设备间	3	0.50	3.7	$1.56 \times 10^{-4}$	1.36	22.6
	南侧	患者防护门	4	0.50	4.8	$1.67 \times 10^{-5}$	$8.59 \times 10^{-2}$	1.43
		患者走廊	3	0.50	4.6	$1.56 \times 10^{-4}$	$8.79 \times 10^{-1}$	14.6
	西侧	设备间	3	0.50	3.7	$1.56 \times 10^{-4}$	1.36	22.6
		无菌间	3	0.50	4.1	$1.56 \times 10^{-4}$	1.11	18.4
	北侧	工作人员门	4	0.50	5.0	$1.67 \times 10^{-5}$	$7.92 \times 10^{-2}$	1.32
		观察窗	4	0.50	4.6	$1.67 \times 10^{-5}$	$9.36 \times 10^{-2}$	1.56
		操作间	3	0.50	4.6	$1.56 \times 10^{-4}$	$8.79 \times 10^{-1}$	14.6
	楼上	楼上庭院	3.87	0.50	4.8	$2.23 \times 10^{-5}$	$1.15 \times 10^{-1}$	1.92
	楼下	影像候诊区	3.87	0.50	4.1	$2.23 \times 10^{-5}$	$1.58 \times 10^{-1}$	2.63

## (3) DSA 机房外辐射有效剂量率

机房外各关注点的辐射剂量率估算结果见表 11-13。

表11-13 各关注点辐射剂量率估算结果

机房	关注点位置描述		透视状态 ( $\mu\text{Sv/h}$ )			采集状态 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		
			泄露剂量率	散射剂量率	总有效剂量率	泄露剂量率	散射剂量率	总有效剂量率
DSA 机房	东侧	设备间	$1.15 \times 10^{-1}$	1.36	<b>1.47</b>	1.92	22.6	<b>24.5</b>
	南侧	患者防护门	$7.23 \times 10^{-3}$	$8.59 \times 10^{-2}$	$9.32 \times 10^{-2}$	$1.21 \times 10^{-1}$	1.43	1.55
		患者走廊	$7.45 \times 10^{-2}$	$8.79 \times 10^{-1}$	$9.53 \times 10^{-1}$	1.24	14.6	15.8
	西侧	设备间	$1.15 \times 10^{-1}$	1.36	1.47	1.92	22.6	24.5

		无菌间	$9.38 \times 10^{-2}$	1.11	1.20	1.56	18.4	20.0
北侧		工作人员门	$6.67 \times 10^{-3}$	$7.92 \times 10^{-2}$	$8.59 \times 10^{-2}$	$1.11 \times 10^{-1}$	1.32	1.43
		观察窗	$7.88 \times 10^{-3}$	$9.36 \times 10^{-2}$	$1.01 \times 10^{-1}$	$1.31 \times 10^{-1}$	1.56	1.69
		操作间	$7.45 \times 10^{-2}$	$8.79 \times 10^{-1}$	$9.53 \times 10^{-1}$	1.24	14.6	15.8
楼上		楼上庭院	$9.67 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-1}$	$1.25 \times 10^{-1}$	$1.61 \times 10^{-1}$	1.92	2.08
楼下		影像候诊区	$1.33 \times 10^{-2}$	$1.58 \times 10^{-1}$	$1.71 \times 10^{-1}$	$2.21 \times 10^{-1}$	2.63	2.85

由上表可知，在透视状态下，DSA 机房各屏蔽体外表面 0.3m 处的最大周围剂量当量率分别为  $1.47 \mu\text{Sv/h}$ ，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求；采集状态下最大周围剂量当量率分别为为  $24.5 \mu\text{Sv/h}$ ，估算条件为 500mA，按照 GBZ130-2020 归一至 100mA 时为  $4.9 \mu\text{Sv/h}$ ，满足“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于  $25 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

## 2.个人剂量估算

### 2.2 数字减影血管造影机

辐射工作人员和公众受到的年有效剂量计算公式如下：

$$H_w = H_R \cdot K \cdot t \cdot T \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-8})$$

式中： $H_w$ ：年受照剂量，mSv/a；

$H_R$ ：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  $1\text{Sv/Gy}$ ；

$t$ ：年出束时间，h/a，全年按透视 75h，采集 2.5h 计。

$T$ ：人员居留因子，参照 HJ1198-2021 附录 A 取值。

根据表 11-13 计算结果，结合公式 11-8，控制室工作人员及手术室周围公众可能受到的年有效剂量见表 11-14。

表11-14 DSA手术室周围各关注点人员受照剂量估算结果

机房	关注点位置描述		透视状态 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		采集状态 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		居留因子	年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )
			剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	出束时间 (h/a)	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	出束时间 (h/a)		
DSA	东侧	设备间	1.47	75	24.5	2.5	1/20	$8.58 \times 10^{-3}$

机房	南侧	患者防护门	$9.32 \times 10^{-2}$	75	1.55	2.5	1/8	$1.36 \times 10^{-3}$
		患者走廊	$9.53 \times 10^{-1}$	75	15.8	2.5	1/5	$2.22 \times 10^{-2}$
	西侧	设备间	1.47	75	24.5	2.5	1/20	$8.58 \times 10^{-3}$
		无菌间	1.20	75	20.0	2.5	1/20	$7.00 \times 10^{-3}$
	北侧	工作人员门	$8.59 \times 10^{-2}$	75	1.43	2.5	1/8	$1.25 \times 10^{-3}$
		观察窗	$1.01 \times 10^{-1}$	75	1.69	2.5	1	$1.18 \times 10^{-2}$
		操作间	$9.53 \times 10^{-1}$	75	15.8	2.5	1	0.11
	楼上	楼上庭院	$1.25 \times 10^{-1}$	75	2.08	2.5	1/20	$7.29 \times 10^{-4}$
	楼下	影像候诊区	$1.71 \times 10^{-1}$	75	2.85	2.5	1	$2.00 \times 10^{-2}$

### (1) 控制室内操作人员年附加有效剂量

由表 11-14 可知，DSA 机房控制室内操作人员受到的年附加有效剂量为 0.11 mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（职业人员 20mSv），也低于本次评价所取的年剂量约束限值（职业人员 5.0mSv）。

### (2) 公众年附加剂量

DSA 正常运行时，DSA 机房周围公众受到的年有效剂量最大值为  $2.22 \times 10^{-2}$  mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（公众人员 1mSv）及本次评价所取的年剂量约束限值（公众人员 0.1mSv）。

### (3) 医生、护士年附加有效剂量

采集模式是为了给减影状态提供蒙片，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 7.8.3“除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留”。因此，采集模式下，介入手术医生和护士退出 DSA 机房在控制室内，医护人员受照剂量按照操作间处的剂量率计算，DSA1 手术医护人员采集模式下受照剂量为  $15.8 \times 2.5 \times 10^{-3} = 0.04$  mSv/a。

根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）附录 B 中表 B.1 X 射线透视设备的检测项目及技术要求“7、非直接荧光屏透视设备透视防护区检测平面上周围剂量当量率不大于  $400 \mu\text{Sv/h}$ ”，因此本次评价保守按照 X 射线设备在确保铅屏风 and 床侧铅挂帘等防护设施正常使用的情况下，手术医生和护士铅衣外按照透视防护区检测平面上周围剂量当量率为  $400 \mu\text{Sv/h}$  进行计算。

根据公式 11-6 计算可知，管电压 125kV 时，手术医生和护士穿 0.5mm 厚铅衣的屏蔽透射因子 B 为  $5.57 \times 10^{-2}$ ，DSA 手术透视情况下年累积出束时间 75h，则介入手术所致手术室内操作医生年剂量为 1.67mSv/a。

介入手术医生和护士受到的附加年有效剂量最大为 1.69mSv/a（=透视 1.67mSv/a+采集 0.04mSv/a）低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值（职业人员 20mSv）及本次评价所取的年剂量约束限值（职业人员 5.0mSv）。

本项目 DSA 辐射工作人员从现有介入放射工作人员中调配，根据个人剂量监测报告，现有介入放射工作人员连续四个季度的累积剂量最大为 0.72mSv，叠加本项目 DSA 照射产生的年附加有效剂量后（控制室操作人员 0.11mSv，手术医护人员 1.69mSv）仍满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。

事实上，上述估算偏保守，忽略了 DSA 设备材料的衰减作用，此外 DSA 设备床边操作系统、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，DSA 在正常运行情况下，医护人员实际受到的年附加剂量率小于理论计算值。

### 3.非放射污染物影响分析

#### 1.废水

DSA 使用数字显影技术，不使用显影液和定影液进行洗片操作，无洗片废水、废定（显）影液产生。

#### 2.废气

DSA 设备在开机并处于出束状态时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，本项目 DSA 机房拟安装通风装置，保持良好的通风，产生的臭氧和氮氧化物可通风系统排出室外，对周围环境影响极小。

#### 3.固体废物

DSA 手术过程中会产生纱布、针管、损伤废物、输液器等医疗废物，医疗废物收集后转移至污物暂存间，由医院统一委托有资质单位处置。

### 事故影响分析

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐

射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。

重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致2 人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

### **1、可能发生的辐射事故**

针对医院核医学科应用的放射性核素与射线装置进行分析，该项目可能发生辐射事故为：

#### **（1）放射性药品或密封放射源丢失、被盗事故**

医院核医学科管理不严、保管不当，导致放射性药品丢失、被盗，进而对公众造成辐射影响。

#### **（2）放射性药品洒漏事故和患者呕吐**

放射性药品分装、注射操作过程中因操作不当，放射性药品出现洒漏对工作场所台面、地上等形成放射性污染；患者呕吐物对工作场所台面、地上等形成放射性污染。

#### **（3）射线装置误照射事故**

本项目 PET/CT 属于III类射线装置，在进行显像检查时，由于防护门闭门装置失效，工作人员误入正在运行的检查室，致使人员受到照射；或工作人员尚未撤离检查室，即开启设备进行扫描，对室内工作人员进行放射性照射。

### **2、辐射事故防范措施**

#### **（1）放射性药品或放射源丢失、被盗事故**

为了防止放射性药品或放射源贮存期间发生丢失、被盗事故，医院拟采取如下防范措施：

①放射性药品或放射源贮存场所（储源室、活性室、注射室）均位于负一层核医学科控制区内，在核医学科患者通道入口、出口处设计单向门禁系统，限制无关人员进入此区域；

②在储源室、活性室、注射室以及主要通道处设计安装视频监控系统，由医院保卫部门进行全天监控；

③对放射性药品或放射源贮存场所（储源室、活性室、注射室）设置门锁，采用双人双锁进行管理；

④建立放射性药品台账制度，实现专人管理，明确放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录；

⑤建立放射源台账、使用登记制度，对每次使用的放射源进行登记、定期进行盘点。

应急措施：当发生放射性药品或放射源被盗事故，事故发生者应立即上报医院辐射事故应急领导机构。接到报告后，医院应立即启动辐射事故应急预案。同时，保护事故现场，防止无关人员进入现场，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，并向当地环境保护主管部门和公安部门报告，协助公安、环保主管部门对被盗的密封源进行侦察和追缴。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

#### （2）放射性药品洒漏和患者呕吐等情况

工作人员在注射或给药过程中，由于工作人员未按操作规程要求或操作失误，可能导致盛装放射性药物的试剂瓶被打翻或者破碎，进而导致放射性药物洒漏在工作台面以及地上。患者注射药物后发生呕吐对工作场所台面、地上等形成放射性污染。

假如发生洒漏事故或患者呕吐物污染工作台面和地面时，人员在其附近逗留时间越长，接受的剂量也就越大，同时距离事故点距离越近，所受到的剂量越大。对事故洒漏场地进行清污的人员，应加强个人防护措施，减少接触时间和尽量增加操作距离，以减少辐射影响。

防范措施：核医学科分装、注射或给药工作人员应严格按照操作规程操作，穿戴个人防护用品（铅衣、铅手套等），增加操作熟练程度，减少操作时间，以减少辐射影响。

应急措施：核医学科配备一次性防水手套、气溶胶防护口罩、放射性污染防治服、胶鞋、去污剂和/或喷雾；小刷子、一次性吸水纸、不同大小的塑料袋、酒精湿巾等应急去污用品，在发生放射性药物撒漏、患者呕吐物等意外情况时可及时清理。若发生以上情况，应迅速用吸附衬垫或其他物质吸干溅洒的液体，用一次性酒精湿巾清除患者呕吐物，并使用去污剂进行清洁擦拭，以防止污染扩散。吸附、擦拭物质作为



放射性固体废物，放入带有屏蔽功能的废物桶内。并对污染区域进行表面污染监测， $\beta$ 表面污染大于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，用酒精药棉或纸巾进行擦拭，直到污染区表面污染小于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

### (3) 射线装置误照射事故

本项目核医学科涉及 1 台 III 类射线装置 PET/CT，发生严重事故时，可能会对室内工作人员造成辐射损伤。为了预防事故发生，可采取如下防范措施：

①定期对 PET/CT 机房防护门闭门装置进行检查、维护，确保其处于正常的工作状态；

②控制室工作人员每次在使用 PET/CT 进行扫描前，通过观察窗查看检查室内人员停留情况，在仅有患者且防护门关闭到位的情况下，开启 PET/CT 设备进行扫描操作。

应急措施：发生误照射事故时，控制室内工作人员应立即按下紧急停机开关或切断射线装置高压电源，终止射线装置出束，同时向医院辐射安全与环境保护应急管理机构报告。

## 1.3 采取的预防措施

针对以上突发事故，本次环评提出以下防范措施：

(1) 医院应按操作规程定期对各个连锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机、门-灯连锁装置失效的情况下违规操作；通过故障报警系统及时发现故障，及时修复。

(2) 放射工作人员应在开机运行前认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。

(3) 放射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

(4) 医院在采购 PET/CT 应将充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性；在维护和维修时，决不可擅自解除连锁系统。

(5) 医院应保证 PET/CT 设备控制台紧急停机按钮正常工作，同时应确保放射工作人员做好定期辐射巡测工作，熟知相关辐射事故应急措施，在辐射事故发生后及时上报、估算意外照射剂量，并将受意外照射人员及时送医。

## 2. DSA 手术室事故影响

## 2.1可能发生的辐射事故

(1) 射线装置发生控制系统或电器系统故障或人员疏忽将照射参数设置错误，使受检者或职业人员受到超剂量照射。

(2) 人员在防护门关闭后未撤离手术室，射线装置开始运行，造成额外照射。

(3) 医生在手术室内为患者摆位或进行其它术前准备工作时，控制室操作台处操作人员误开机出束，对手术室内医生造成误照射。

(4) 介入治疗时，医生未穿戴防护用品进入手术室，或未配置合格的防护用品，使医生受到较高剂量的附加照射。

(5) 安全警示装置发生故障，医护人员误入正在运行手术室造成额外照射。

## 2.2事故分析

若由于疏忽造成人员误入，误入人员距离辐射源点 1m 处的透视状态下泄漏剂量率为  $1.98 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ ，距患者（散射体）1m 处散射剂量率为  $1.19 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ，总剂量率为  $1.39 \times 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ，本项目 DSA 透视最大时间为 15min，则在透视情况下距离患者 1m 处 15min 受到的剂量为 34.65mSv。

由于 DSA 的 C 型臂支架可以切换到水平照射方式，存在 X 射线直接照射的可能，若误入人员受到 X 射线直接照射，距靶点 1m 处剂量率透视取  $1.98 \times 10^7 \mu\text{Sv/h}$ ，采集取  $3.30 \times 10^8 \mu\text{Sv/h}$ ，则距靶点 1m 处达到确定性效应阈值下限（0.1Sv）的时间分别为透视约 18.18s、采集约 1.09s。若设备曝光时，手术室内有人员滞留或误入，在无任何屏蔽措施条件下受到 X 射线照射，则在透视情况下距离设备 1m 处 1min 受到的剂量为 0.33Sv，采集下 1min 受到的剂量为 5.5Sv。在前述条件下，透视约 0.18s 或采集约 0.01s 后，误入人员受到的剂量将高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中年剂量限值（公众人员 1mSv）；在透视约 3.64s 或采集约 0.22s 后，误入人员受到的剂量将高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中年剂量限值（职业人员 20mSv）。

由此可知，职业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，进行放射工作前按要求穿戴好各种个人防护用品，并定期检查手术室的防护性能及有关安全警示标志是否正常，坚决杜绝人员受到有用线束的直接照射，避免无关人员误入正在曝光的手术室。

## 2.3采取的预防措施

针对以上辐射事故，本评价提出以下预防措施以避免辐射事故发生：

(1) 定期对 DSA 设备的安全和防护措施进行检查，对发现的安全隐患及时采取

有效措施，妥善处置。

(2) 加强辐射工作人员的管理与业务培训，确认各项管理制度的执行情况。DSA 开机前，必须确保无关人员全部撤离；针对 DSA 制定相关的操作规程，并做到“制度上墙”（将操作规程张贴在控制室醒目位置），辐射工作人员必须严格按照操作规程进行操作，以避免因误操作造成工作人员和公众受到意外辐射。

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

(4) 介入医生做好个人防护，介入手术前配备必要的铅围裙、铅颈套、铅眼睛、介入防护手套、铅悬挂防护屏或铅防护吊帘、床侧防护帘或床侧防护屏等防护用品。同时按照 GBZ128-2019 规定正确佩戴个人剂量计。

(5) 手术室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。定期检查门灯联锁装置，确保门灯联锁装置正常运行，防止人员误入。

(6) 定期对辐射工作场所的安全防护装置进行维护、保养。配备必要的辐射监测仪器，对工作场所实施必要辐射环境监测，及时发现使用过程中可能存在的射线的泄漏。

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

(8) 医院应不断完善辐射事故应急预案，并定期组织医护人员加强应急演练。

**表 12 辐射安全管理**

**辐射安全与环境保护管理机构的设置**

**管理机构设置情况**

按照国家相关法律、法规及主管部门的要求，医院应成立以医院领导牵头的辐射安全管理机构——辐射安全领导小组，负责解决实践中出现的各种辐射安全问题，确保射线装置的正常运行。同时，设立专（兼）职辐射防护管理人员，负责对射线装置的常规检查和机房的辐射防护与安全工作，开展业务培训，制定应急预案，组织应急演练，接受上级主管部门和卫生部门的检查。

商洛市中心医院严格按照国家相关规定，成立了放射防护、辐射安全管理小组（商市医发〔2023〕22号），组长为唐红涛，副组长为张乾坤，文件明确了小组成员以及相关工作职责。领导小组下设办公室，办公室设在设备科，李叶兼职负责全院日常放射诊疗、辐射安全管理相关组织、协调、处理工作。

医院现有的放射防护、辐射安全管理小组人员配备和职责，能够满足对辐射安全与环境保护管理机构设置的管理要求，本次建设项目投入使用后，将其纳入医院现有管理体系，并根据现有体系、人事变动情况和项目实际及时调整人员名单，明确相关人员职责。

**辐射安全管理规章制度**

根据陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知（陕环办发〔2018〕29号）的相关规定要求，医院应对制定的管理规章制度的执行情况及应急管理按表 12-1 的要求，逐项落实完善。

**表12-1 辐射安全管理标准化建设项目表（辐射安全管理部分）**

管理内容	管理要求
机构建设	设立辐射环境安全管理机构和专（兼）职人员，以正式文件明确辐射环境安全管理机构和负责人。
制度建立与执行	建立全国核技术利用辐射安全申报系统运行管理制度，指定专人负责系统使用和维护，确保业务申报、信息更新真实、准确、及时、完整。
	建立放射性同位素与射线装置管理制度，严格执行进出口、转让、转移、收贮等相关规定，并建立放射性同位素、射线装置台账。
	建立本单位放射性同位素与射线装置岗位职责、操作规程，严格按照规程进行操作，并对规程执行情况进行检查考核，建立检查记录档案。
	建立辐射工作人员培训管理制度及培训计划，并对制度的执行情况及培训的有效性进行检查考核，建立相关检查考核资料档案。
	建立辐射工作人员个人剂量管理制度，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），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	结合单位实际，制定可操作性的辐射事故应急预案，定期进行应急演练。
	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。
注：表中标注有“*”内容为关键项，为强制性规范要求。	

## 1.医院辐射安全管理现状

商洛市中心医院严格遵守相关放射性法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

（1）为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全防护领导小组，明确了相关成员的辐射防护责任，加强了对射线装置的监督和管理。

（2）医院已制定《商洛市中心医院辐射安全与防护管理制度》《商洛市中心医院放射防护告知制度》《商洛市中心医院放射工作人员岗位培训制度》《商洛市中心医院放射工作人员职业健康管理制度》《商洛市中心医院放射工作人员档案管理制度》《商洛市中心医院放射诊疗质量保证方案》《商洛市中心医院辐射事故应急预案》等规章制度，并严格按照规章制度执行。

（3）医院部分辐射工作人员辐射安全与培训方面存在问题，需加强落实。医院应及时组织相关人员按规定参加辐射安全与防护培训。

（4）工作期间，辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，建立了剂量健康档案并存档。医院现有辐射工作人员连续四个季度的累积剂量均满足不大于 5mSv 的剂量管理目标值。

（5）医院 2022 年由于医院整体搬迁，原老区射线装置暂未随院搬迁，处于停用状态，故未进行 2022 年射线装置机房辐射安全防护检测。待新院区射线装置机房建

设完成、老院区射线装置搬迁安装到位后，医院将委托具有辐射环境检测资质的单位进行辐射安全防护检测。

## 2.本项目辐射安全管理制度

医院现有的辐射安全管理制度基本能够满足陕环办发〔2018〕29号相关要求，针对本次扩建的PET/CT和DSA，本环评提出以下要求：

（1）应确保拟配备的放射工作人员熟悉操作规程、人员岗位职责等，落实PET/CT和DSA的安全使用。在日常工作中应严格落实医院现有的各项辐射安全管理制度，并根据实际使用情况不断完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，使其具有更强的针对性和可操作性。同时，建立医院辐射环境安全管理档案。

（2）组织医院所有放射工作人员（包括项目拟配备的放射工作人员）参加辐射安全和防护知识培训，经考核合格后持证上岗，并每五年再培训。医院应建立放射工作人员培训档案，对III类射线装置放射工作人员培训档案内容包括每次培训的课程名称、培训时间、考试或考核成绩等。

（3）应为项目拟配备的放射工作人员建立完善的个人剂量档案和职业健康档案。

放射工作人员应正确佩戴个人剂量计，监测周期一般为1个月，最长不得超过3个月，个人剂量档案终身保存。个人剂量监测档案包括：1）历年常规监测的方法和结果等相关资料；2）应急或者事故中受到照射的剂量和调查报告等相关资料。若个人剂量当量连续四周期（一年）累积剂量超过5.0mSv时，医院应第一时间作原因调查，如实填写超标原因调查表。由检测单位按原因情况和有关规定确定调查结果或给出名义剂量。

应当在上岗前对其进行职业健康检查，符合放射工作人员健康标准的，方可参加放射工作；上岗后应定期对其进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查；离岗前应当对其进行离岗前的职业健康检查。职业健康档案终生保存，档案应包括：1）职业史、既往病史和职业照射接触史；2）历次职业健康检查结果及评价处理意见；3）职业性放射性疾病诊疗、医学随访观察等健康资料。

（4）环评报批后，医院需及时向相关主管部门申请辐射安全许可证。

（5）医院应不断完善辐射事故应急预案，并加强应急演练。

## 辐射监测

### 1、放射工作场所日常监测

医院拟为本项目新购置 1 台 X、 $\gamma$  辐射剂量率监测仪和 $\beta$ 表面污染检测仪。每年将自主检测仪器送至具备相应资质的单位进行检定，检定合格后使用。本项目建成后，医院将制定日常监测方案，并利用检测仪器对各辐射工作场所及周边环境进行日常监测，监测数据存档备查。项目辐射监测计划见表 12-2。

项目辐射监测计划见表12-2。

表12-2 项目辐射监测计划

位置	监测内容	监测点位	监测因子	监测频次
核医学科	防护性能检测	①核医学科各功能用房四周墙体、顶棚、防护门（缝隙和中央）、观察窗外 30cm 处、操作位、管线洞口/通风口，机房顶棚 30cm 处，机房地面下方（楼下）距楼下地面 1.7m 高度处，核医学科工作场所控制区边界外 30cm 处；②分装热室、注射窗手孔位、操作位、柜身周围 5cm 处；③药物屏蔽容器表面 5cm 处；④放射性废物桶表面 5cm 处。	X- $\gamma$ 辐射剂量率	每月自测一次，委托有资质单位每年监测一次
		放射性药物准备间、质检室、注射室、检查前休息室、PET/CT 机房、检查后休息室、卫生间等场所；工作台面、设备表面、墙壁、地面、座椅、洗手池、患者卫生间地面、床面以及可能受到污染位置。	$\beta$ 表面污染	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）
		核医学科工作人员手、皮肤暴露部分以及工作服手套、手套、鞋、帽等。		每次人员离开前
	放射性废物桶表面 5cm 及表面 100cm 处。放射性固废包装袋外表面。	每次人员离开前		
	含放射性废水	衰变池出水口	总 $\beta$	委托有资质单位排放时监测一次
DSA 机房	X- $\gamma$ 辐射剂量率	机房屏蔽体外表面 30cm 处、防护门外表面 30cm 处，防护门窗及缝隙外表面 30cm 处，楼上 1.0m、楼下 1.7m 人员可到达的	X- $\gamma$ 辐射剂量率	每季度检测一次，每年委托有资质的单位检测一次

		范围，工作人员操作位， 管线洞口等		
个人剂量监测		放射工作人员 个人剂量计	个人累积剂量	委托有资质单位 每季度监测一次

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）等的要求，医院针对项目制定相应的辐射监测计划见表 12-2，包括：

（1）拟配备的放射工作人员正确佩戴个人剂量计，每季度委托有资质单位检测一次，并建立个人剂量监测档案。

（2）每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行 X、 $\gamma$ 辐射剂量率监测，并建立监测数据档案。医院每年对辐射防护状况进行年度评估检测，并于次年 1 月 31 日前向陕西省生态环境厅报送上一年度辐射安全年度评估报告。

（3）定期使用 X- $\gamma$ 辐射监测仪自行对 PET/CT 工作场所和 DSA 工作场所进行 X- $\gamma$ 剂量率监测，使用 $\beta$ 表面污染检测仪对 PET/CT 工作场所进行表面污染监测，并记录存档。

（4）介入手术医护人员工作时每人应佩戴两个剂量计，一个在铅衣内，一个在铅衣外。

## 辐射事故应急

### 1. 现有核技术利用项目应急预案的执行情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院根据可能发生的辐射事故的风险，已制定了《辐射事故应急预案》，内容包括：辐射事故的报告、辐射事故应急的响应、辐射事故的调查处理、辐射事故应急小组以及放射事故应急报告网络。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》，本环评要求现有的《辐射事故应急预案》应补充以下内容：可能发生的辐射事故及危害程度分析；应急人员培训和应急物资准备；本项目可能发生的辐射事故纳入应急预案处理程序。

针对本项目运行中可能出现的辐射事故，对医院现有的应急预案进行补充修改、完善，将本项目新增的 PET/CT 和 DSA 等纳入医院辐射事故应急预案。医院应补充医用 PET/CT 和 DSA 使用过程中的事故性出束、人员误入、急停开关失灵等辐射事故，针对新增放射性核素（ $^{18}\text{F}$ ）操作过程中可能出现的辐射事故（放射性药品洒漏、患者



呕吐、放射性药品丢失、被盗等事故情况），对医院现有的辐射事故应急预案进行修订。

医院在成立的辐射安全领导小组下设立了应急小组，主要职责：对发生辐射事故的现场进行组织协调、安排救助、指挥辐射事故的应急救援行为，并向辐射工作人员与公众通报事故情况；负责向上级行政部门报告辐射污染事故发生和应急救援情况；负责组织应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥其他各应急小组迅速赶赴现场，开展工作；负责恢复本单位正常医疗秩序、稳定受照射人员情绪采取救治措施等方面的工作。

现有核技术利用项目一旦发生事故，均严格按照应急预案执行。医院制定的辐射事故应急预案中明确了应急领导小组成员、职责和联系方式，并包含了事故应急处理措施、事故报告等内容，具有可操作性，满足应急要求。

本环评要求项目运行后，还应做好以下工作：

(1) 医院每年应组织人员进行应急演练，并记录；

(2) 根据国家最新法律法规，结合医院实际情况，及时对应急预案进行补充修改，使之更能符合实际需要。

## **2.应急准备与响应**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，医院对建设项目的辐射安全负责，并依法对产生的辐射危害承担责任。医院成立专门的应急小组，其职责为：

(1) 制订放射事故应急计划和应急预案；

(2) 落实医院的辐射监测计划，定期对放射工作场所和周围区域进行检测；

(3) 定期组织相关人员进行应急培训和事故演习；

(4) 发生辐射事故后，立即启动应急预案，并组织有关部门和人员进行事故应急处理，控制事故影响，并及时向相关部门报告事故情况；

(5) 应立即将在放射事故中可能受到辐射危害的人员送至当地卫生部门指定的医院或有条件救治辐射损伤患者的医院进行检查和治疗；

(6) 负责事故调查和善后处理工作。

### **2.1 应急计划**

医院制定有《商洛市中心医院放射事故应急预案》，成立有放射事故应急领导小组，并制定有相应的工作职责；还应进行细化，如增加相关联系部门的联系方式、应

急预案的演练内容和相关科室的具体工作职责等，项目建成运行后，增加核医学科相关的应急预案。

医院按规定制定适应本单位实际工作需要的《放射事故应急预案》，应急预案应包括如下内容：

- (1) 应急领导机构的组成人员、职责分工、办公地点；
- (2) 应急人员日常组织和培训等管理工作安排；
- (3) 应急救助资金和物资的准备；
- (4) 辐射事故的分级、分类与应急响应措施；
- (5) 事故调查、报告和处理程序；
- (6) 医院、卫生、环保和公安等部门的联系方式等。

## **2.2 应急处理程序**

(1) 一旦发生放射事故，必须立即切断设备电源终止照射并封闭现场，防止事故进一步扩大和蔓延，并及时（两小时内）向辐射安全领导机构及当地环保、卫生和公安等职能部门报告。

(2) 辐射安全领导小组接到事故报告后立即赶赴现场，组织人员将应急处置器材运往现场，并妥善处理受辐照人员；如发生人体受超剂量照射事故，应迅速安排人员接受医学检查或者在指定的医疗机构救治，密切观察其临床体征。

(3) 医院应认真配合有关部门进行事故调查和侦破，找出事故原因，分清事故责任。如属于技术事故，需立即落实设施或装置的维护计划，请生产厂家派专业技术人员来维修，做好维修记录并长期保存，事故隐患消除之前不得开机。

(4) 如果发生事故，医院应承担处理放射事故的各种费用；给他人造成损害的，应依法承担民事责任。

## **2.3 应急准备**

医院从如下方面做好应急准备工作：

(1) 应急通信能力：确定建设单位与相关部门（如省应急中心、环保、公安、卫生等）联系电话和事故报告方式，以便能及时传递、显示和接受事故信息及相关处理意见，保证事故应急指挥迅速、有效进行。

(2) 应急支援力量：发生放射事故时，建设单位应能获得必要的应急支援力量，如辐射监测支援、医学应急支援和应急交通支援等。

(3) 应急物资：建设单位应随时准备有：救护车、担架、辐射监测仪器、警示标志、急救药品等各种应急物资器材。

(4) 应急培训和演练：建设单位应定期组织相关人员进行应急知识和技能培训，并定期举行不同类型的应急演练，以检验和完善各项应急准备工作。

(5) 公众信息交流：应采取各种形式（如电视、板报、传单等）向公众普及辐射安全、辐射防护和事故应急的基本概念与知识，提高公众的自我防范意识和应急处理能力。

(6) 应急队伍保持：保持应急组织人员的稳定，根据情况及时进行调整和补充。

## 环境保护投资与“三同时”环保验收一览表

### 1.环保投资

项目总计投资 7000 万元，其中环保投资 200 万元，占总投资的 2.86%，环保投资主要用于机房屏蔽墙体的建设投资，与主体建筑同时设计，同时施工，辐射安全防护设施的建设，个人防护用品、辐射监测仪器购置以及工作人员培训费用等，环保投资详见表 12-3。

表12-3 环保投资一览表

项目		设施（措施）	投资金额（万元）
辐射工作场所	机房屏蔽措施	墙体、屋顶和地板（土建施工）	已计入总体工程投资
		防护门	50
		铅玻璃观察窗	10
	辐射安全防护设施	<p>①PET/CT 场所：钨合金注射屏蔽套、铅罐、转运注射箱、手提式屏蔽箱、铅污物桶、手套箱、分装柜、除污用品、个人剂量计等；PET/CT 机房门灯联锁装置、红外防夹装置、自动闭门装置、工作状态指示灯、电离辐射警示标志、对讲装置、个人剂量计等。</p> <p>②DSA 手术室：电离辐射警告标志、工作状态指示灯、灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示标志、门灯联锁装置、候诊区设放射防护注意事项告知栏、手术室设观察窗、电动推拉门设红外防夹装置、平开门设自动闭门装置。机房辅助防护设施、放射工作人员及患者防护用品数量满足使用需求。</p>	80
个人防护用品	<p>①PET 场所：放射性污染防护服；</p> <p>CT 机房：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅帽等受检者个人防护用品等</p>	5	

		②个人剂量计、铅衣、铅帽（选配）、铅围裙、铅颈套、铅眼镜、介入防护手套等，数量应满足实际工作需求。DSA机房患者防护用品不少以1套，工作人员防护用品不少于2套。	
	通排风系统	通风系统	40
	环境监测	配备辐射环境监测仪器 2 台，1 台 X- $\gamma$ 剂量监测仪，1 台 $\beta$ 表面污染监测仪，监测设备每年计量院检定/校准，定期对工作场所进行监测，记录监测数据并归档。	5
	应急设备	应急和救助的物资准备	10
	工作人员培训费用	参加辐射安全和防护知识培训，持证上岗	/
合计			200

## 2.竣工环境保护验收

为规范建设项目竣工环境保护验收的程序和标准，强化建设单位环境保护主体责任，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）以及《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后应及时进行自主验收，编制验收监测报告。验收合格后，方可投入生产或使用。

项目竣工环境保护验收清单见表 12-4。

表12-4 项目竣工环境保护验收清单

序号	验收内容		验收方式
1	辐射安全管理机构		设立辐射安全防护管理领导小组并明确成员职责，负责项目辐射安全与环境管理工作。
2	辐射安全管理制度	制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急措施等规章制度	根据环评要求以及陕环办发[2018]29号文件要求，按照项目的实际情况，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。针对使用的放射性核素和射线装置使用过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急物质。定期进行辐射事故应急演练。
3	辐射安全防护措施	DSA	电离辐射警告标志、工作状态指示灯、灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示标志、门灯联锁装置、候诊区设放射防护注意事项告知栏、手术室设观察窗、电动推拉门设红外防夹装置、平开门设自动闭门装置、动力通风装置。机房辅助防护设施、放射工作人员及患者防护用品数量满足使用需求。
		核医学科	①项目核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，划分控制区和监督区，控制区出入口安装门禁；在地面设置患者、医生的行走箭头标识，规定各类人

			<p>员的 活动路径；</p> <p>②设置卫生通过间，工作人员离开时进行表面污染监测；</p> <p>③设置放射性废气活性炭吸附装置，并设置电离辐射警告标志；</p> <p>④机房墙体、防护门、观察窗防护当量满足标准限值要求，设置有门灯连锁和门机连锁装置、急停开关、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等。；</p> <p>⑤门与墙搭接满足要求、机房内通风良好；</p> <p>⑥机房内设置对讲装置，观察窗或摄像监控装置；</p> <p>⑦建立完善的就医流程、放射性药物、放射性废物管理台账；</p> <p>⑧配备相应的防护设施：铅防护罐、一体化防护注射装置、钨合金注射器防护套、铅屏风等；</p> <p>⑨分装热室：<sup>18</sup>F 设置分装热室；</p> <p>⑩在核医学科注射分装室、扫描前休息室、检查后休息室、抢救室等配置带铅防护废物桶，桶外张贴电离辐射警示标识。放射性固体废物分类收集存放于固废室，废物包装体外注明核素、收集时间、处理时间等相关信息。</p>
4	防护用品	DSA	<p>每个放射工作人员佩戴个人剂量计</p> <p>铅衣、铅帽（选配）、铅围裙、铅颈套、铅眼镜、介入防护手套等，数量应满足实际工作需求。机房内配备铅悬挂防护屏或铅防护帘、床侧防护帘或床侧防护屏。DSA 机房患者防护用品不少于 1 套，工作人员防护用品不少于 2 套。</p>
		核医学科	每个放射工作人员佩戴个人剂量计
			PET 场所：放射性污染防护服
			PET/CT 机房：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅帽等受检者个人防护用品等
5	机房面积	DSA	DSA 机房面积 $\geq 20\text{m}^2$ ，机房内最小单边长度 $\geq 3.5\text{m}$ 。
		核医学科	PET/CT 机房面积 $\geq 30\text{m}^2$ ，机房内最小单边长度 $\geq 4.5\text{m}$ 。
6	放射性废水	核医学科	核医学科衰变池排口设置标准采样口，医院污水处理站总排口：总 $\beta$ 放射性 $< 10\text{Bq/L}$ 。
7	放射性废气	核医学科	设置专用排风管道，放射性废气采取活性炭过滤装置处理后，由屋面排放。分装热室应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。
8	放射性固废	核医学科	设置放射性废物暂存间，有放射性废物处理台账。待放射性废物活度浓度低于 HJ1188-2021 清洁解控水平的要求后，作为医疗废物处理。
			每袋废物（重量 $\leq 20\text{kg}$ ）的表面辐射剂量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ；废物包装盒外表面： $\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$
			所含核素半衰期小于 24 小时（主要为含 <sup>18</sup> F、）的放射性固体废物暂存时间超过 30 天。
9	环境监测仪器		配备 1 台 X- $\gamma$ 辐射剂量监测仪器，1 台表面污染监测仪，每年检定 1 次；应定期对辐射工作场所及周围环境进行监测，详细记录监测数据并归档。

10	职业教育培训			放射工作人员应定期参加辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得合格证后方可上岗。
11	个人剂量档案			为每名放射工作人员配备个人剂量计，放射工作时要求佩戴，定期送检并保存放射工作人员个人剂量监测档案。
12	健康档案			定期对放射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康检查档案。
13	剂量管理 限值	DSA	剂量 限值	项目公众年有效剂量约束值取 0.1mSv，职业工作人员年有效剂量约束值取 5mSv。
			墙体 外剂 量率 控制	DSA 透视条件下监测机房周围当量剂量率，屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h，采集条件下不大于 25 $\mu$ Sv/h 的标准限值
		核医学科	剂量 限值	项目公众年有效剂量约束值取 0.1mSv，职业工作人员年有效剂量约束值取 5mSv。
			墙体 外剂 量率 控制	屏蔽墙体外表面 30cm 处、防护门表面及缝隙 30cm、管线穿墙孔洞处空气吸收剂量率 < 2.5 $\mu$ Sv/h。核医学科各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu$ Sv/h。分装热室、注射窗等设备应有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 $\mu$ Sv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 $\mu$ Sv/h。
			表面 污染	①工作台、设备、墙壁、地面：控制区： $\beta < 4 \times 10^4$ Bq/cm <sup>2</sup> ；监督区： $\beta < 4$ Bq/cm <sup>2</sup> ；②工作服、手套、工作鞋：控制区/监督区： $\beta < 4$ Bq/cm <sup>2</sup> ；③手、皮肤、内衣、工作袜： $\beta < 4 \times 10^{-1}$ Bq/cm <sup>2</sup>
14	环评批复		/	

表 13 结论与建议

## 结论

1.商洛市中心医院拟在 1 号楼东侧地下一层建设核医学科，在 1 号楼三层建设 DSA 手术室，使用非密封放射性药物  $^{18}\text{F}$  开展 PET/CT 诊断，使用 DSA 开展介入诊疗工作。该项目有助于提高周边地区医学诊疗水平，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。

2.本项目涉及 1 号楼地下一层核医学科使用  $^{18}\text{F}$  开展 PET/CT 诊断、三层介入中心使用 DSA 诊疗。核医学科工作场所使用  $^{18}\text{F}$  的日等效最大操作量为  $3.7\times 10^6\text{Bq}$ ，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；介入中心使用 DSA 属于 II 类射线装置。

3.项目总投资投资 7000 万元，其中环保投资 200 万元，占总投资的 2.86%。

4.从辐射场所的楼层平面布局可知，各辐射场所与其配套单元间功能布局分区明确，不相互穿插、干扰。辐射场所设有屏蔽门和工作人员进出门，既方便病人和工作人员进出，又便于辐射防护。总体上看，设备机房选址、布局合理。本次对各辐射工作场所划分了控制区、监督区，并按照国家相关规定进行分区管理，最大程度减少对工作人员、公众辐射影响。

5.项目辐射环境质量现状监测测结果基本与《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年）中“商洛市  $\gamma$  辐射剂量率调查结果（原野：25~150，道路：32~156，室内：75~169nGy/h）”处于同一水平。表明项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

### 6.环境影响分析

#### (1) PET/CT

##### ①屏蔽能力分析

项目核医学科 PET/CT 机房面积和单边尺寸满足标准要求。根据预测计算，核医学科各工作场所屏蔽墙体表面 30cm 处、防护门表面 30cm 处、注射窗外表面剂量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

##### ②个人剂量估算

项目正常运行期间，核医学科对工作人员所致年有效剂量最大为 1.09mSv，对工作场所周边公众所致年有效剂量最大为 0.011mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全

基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对放射工作人员及公众受照剂量约束值要求以及本项目的目标管理限值要求。

### ③ “三废”分析

核医学科产生的放射性废水收集暂存于放射性废水衰变池内，经衰变池衰变后，废水排放满足《核医学辐射防护和安全要求》（HJ1188-2021）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）排放要求。核医学科非密封放射性物质的分装操作在分装热室柜内进行，分装热室设计有单独的排风系统，负压操作，放射性废气经活性炭吸附后，汇集至放射性排风井引至屋面排放；放射性沾染物品以及放射性固体废物将其分类收集后，送至放射性废物暂存间，暂存规定期限后，达到清洁解控水平后，按照医疗废物处置。

## （2）DSA

①机房屏蔽体外 30cm 处的剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。DSA 机房放射工作人员和公众年有效剂量均低于剂量管理目标值。

②DSA 手术产生的医疗废物收集后转移至污物暂存间，由医院统一委托有资质单位处置。DSA 机房安装通风装置，保持良好的通风，产生的臭氧和氮氧化物可通风系统排出室外。

（3）医院由院级领导牵头成立了辐射安全防护管理机构，并明确了相关成员职责。医院制定了一系列辐射安全管理制度，用于指导和规范从事放射活动的人员做好辐射安全和放射防护工作。根据本项目的建设内容，医院还应制定核医学科 PET/CT 相关规章制度，修改并完善医院相关的管理制度，根据射线装置实际使用情况，不断完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案，使其具有更强的针对性和可操作性。

7.综上所述，商洛市中心医院 PET/CT 和 DSA 核技术利用项目能为患者提供好的医疗服务，符合辐射防护实践正当性原则；项目严格按照国家有关辐射防护规定执行，切实落实辐射防护措施，能够使其对周边环境的辐射影响降到尽可能合理且低的水平，满足辐射防护最优化原则；项目运行所致职业人员和公众年附加有效剂量满足国家相关标准规定限值要求，符合剂量限值约束原则；从辐射环境保护角度，在严格落实各项辐射防护措施情况下，项目对环境的影响是可以接受的。



## 建议

1.项目必须在环评审批通过后按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，验收合格并取得辐射安全许可才能正式投入使用。

2.结合实际完善辐射事故应急预案，使之具有针对性、可操作性，加强日常演练，做到有备无患。加强放射工作人员的核与辐射安全知识培训，增强医护人员个人防护意识，最大限度的降低放射诊疗作业造成的有效剂量，确保发生事故时，能够及时有效启动辐射事故应急预案。

3.按照《陕西省环境保护厅办公室关于印发新修订的《陕西省核技术利用单位辐射安全管理标准化建设项目表》的通知》（陕环办发〔2018〕29号）要求，规范管理与操作，建立健全核技术利用项目各项档案管理，认真开展自查自评工作，发现问题及时整改，竣工验收时同时达到标准化指标要求。

4.项目建设和运行过程中，加强内部监督管理，并接受行政主管部门的监督检查

5.医院应严格按照辐射监测计划进行监测，如发现异常，需按照管理制度及辐射事故应急预案的要求进行处理，再次监测正常后，方可继续投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见	
经办人	年 月 日
	公 章
审批意见	
经办人	年 月 日
	公 章